

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## RACIONALIZACE VÝROBY TĚLESA BRUSKY

RATIONALIZATION OF GRINDER BODY PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Lukáš MIŠELNICKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslav PROKOP, CSc.

BRNO

2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Lukáš Mišelnický

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Racionalizace výroby tělesa brusky**

v anglickém jazyce:

### **Rationalization of grinder body production**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza stávající technologie výroby tělesa brusky využívané jako zvláštní příslušenství svislého soustruhu a návrh příslušných racionalizačních opatření.

Cíle diplomové práce:

1. Zhodnocení stávajícího stavu
2. Návrh racionalizačních opatření
3. Výrobní postup tělesa brusky
4. Ekonomická analýza racionalizace výroby tělesa brusky

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. FOREJT,M. a PÍŠKA,M.: Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
3. HUMÁR,A. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing, s.r.o. Praha 2008. 236 s.ISBN 978-80- 254-2250-2.
4. KOCMAN,K. a PROKOP,J. Technologie obrábění. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2005. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
5. KŘÍŽ,R. a VÁVRA,P. Strojírenská příručka 7.svazek.  
1.vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o. 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
6. PÍŠKA,M. a kol.: Speciální technologie obrábění. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2009.252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
7. ZEMČÍK,O. Technologická příprava výroby. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 7.10.2013

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Práce je zaměřena na racionalizaci výroby Tělesa brusky, jakožto speciálního příslušenství pro svislý soustruh s typovým označením BASICTURN 1250 od firmy TOSHULIN, a.s. V práci jsou popsány problémy současné výroby a navrženy konstrukčně-technologické úpravy tak, aby bylo docíleno snížení nákladů na výrobu a celkové zefektivnění výroby.

### Klíčová slova

Racionalizace, těleso brusky, zefektivnění, inovace

## ABSTRACT

The thesis is focused on the rationalization of the grinding body production as a special accessory for a vertical lathe with the type designation BASICTURN 1250 from the company TOSHULIN PLC. The thesis describes the problems of the current production and suggests the constructional and technological adjustments in order to achieve a reduction of the production costs and the overall production efficiency.

### Key words

Rationalisation, body grinders, effectiveness, innovation

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIŠELNICKÝ, L. *Racionalizace výroby tělesa brusky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 67 s, 7 příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Racionalizace výroby tělesa brusky** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

28. 5. 2014

Datum

Bc. Lukáš MIŠELNICKÝ

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji firmě TOSHULIN, a.s. za možnost vypracování diplomové práce pod její záštitou.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	8
1 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU .....	12
1.1 Charakteristika použitých technologií výroby .....	12
1.1.1 Soustružení.....	12
1.1.2 Frézování .....	17
1.1.3 Vrtání .....	25
1.1.4 Broušení .....	30
1.1.5 Zušlechťování .....	37
1.1.6 Kalení.....	38
1.1.7 Černění.....	38
1.2 Výrobní postup tělesa brusky .....	39
2 NÁVRH RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ.....	42
3 VÝROBNÍ POSTUP RACIONALIZOVANÉHO TĚLESA BRUSKY .....	43
3.1 Těleso držáku .....	43
3.2 Nástavec brusky .....	50
3.3 Montáž.....	56
3.4 Výroba prototypového tělesa brusky .....	57
4 EKONOMICKÁ ANALÝZA RACIONALIZACE VÝROBY TĚLESA BRUSKY ..	59
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	63
SEZNAM PŘÍLOH.....	66

## ÚVOD

Chce-li firma uspět na trhu mezi konkurenty, musí o své zákazníky bojovat v několika úrovních. První úrovní je cena produktu a druhou, která je nedílnou součástí předchozí a je s ní pevně spjata, je kvalita produktu. V současné době se zákazníci více zaměřují převážně na cenu a proto je pro firmu důležité snižovat veškeré náklady spojené s výrobou produktu.

Na výše uvedené faktory je zaměřena i má diplomová práce na téma racionalizace výroby tělesa brusky. Především o zefektivnění výroby a o snížení nákladů celá práce pojednává. Práce je rozdělena do několika kapitol, které na sebe navazují. V první části je zhodnocena stávající výroba tělesa brusky. Zároveň považuji za vhodné zde stručně charakterizovat jednotlivé technologie obrábění, které jsou při výrobě použity. Následuje vytipování racionalizačních opatření, která nám pomohou dostat se k cílům práce. V další části je podrobně popsán výrobní postup racionalizované výroby tělesa brusky, včetně strojů, na kterých je součást vyráběna. V poslední kapitole pak následuje ekonomické zhodnocení racionalizace výroby. V přílohách jsou k nahlédnutí výrobní a montážní výkresy a výrobní technologické postupy, tak jak jsou zpracovány ve firmě TOSHULIN, a.s., pro kterou a za jejíž pomoci je práce vypracována. Práce je zaměřena na konkrétní těleso brusky pro svislý soustruh s typovým označením BASICTURN 1250 (Obr. 2).

### Představení společnosti TOSHULIN, a.s.

TOSHULIN, a.s. patří mezi strojírenské firmy, které dlouhodobě působí na trhu obráběcích strojů a v průběhu let dokazují svou schopnost přizpůsobit se nejen měnícím se podmínkám trhu, ale především zvyšujícím se nárokům zákazníků na kvalitu, přesnost a spolehlivost dodávaných strojů. Invence odborníků konstrukčního a technického oddělení, užití moderních výrobních a montážních technologií spolu s kvalitní distribucí ve světové prodejní síti umožnilo firmě TOSHULIN uspět na průmyslově vyspělých trzích [1].

Výrobní program společnosti představují svislé soustruhy a svislá soustružnická centra několika typových řad. Soustruhy jsou nabízeny s průměrem upínací desky od 800 do 6000 mm a jsou vybaveny špičkovými elektronickými komponenty, které jsou spolu s tradičně vysoce přesnými mechanickými díly zárukou vysokého výkonu, spolehlivosti a přesnosti obrábění. Všechny uvedené typy strojů pracují v náročných a složitých průmyslových aplikacích [1].





Obr. 1 Letecké foto areálu firmy TOSHULIN, a.s. [1].

Tab. 1 Historie podniku [2].

<b>1949</b>	Položen základní kámen společnosti
<b>1951</b>	Specializace na výrobu svislých soustruhů
<b>1959</b>	Jako jeden z prvních na světě byl vyroben svislý soustruh s plynulými posuvy, NC pravoúhlým řízením a kopírováním
<b>1974</b>	Zahájena produkce svislých soustruhů s automatickou výměnou nástrojů
<b>80. léta</b>	Produkci tvoří svislé soustruhy s CNC řízením o průměrech upínací desky 800 – 3000 mm
<b>1986</b>	První stroj s automatickou výměnou palet a C osou
<b>2002</b>	První stroj s upínací deskou větší než 4000 mm
<b>počátek 2. tisíciletí</b>	Osa Y, hlava Y, maximální otáčky náhonu rotačních nástrojů 4500 <sup>1</sup> / <sub>min</sub>
<b>2011</b>	POWERTURN s pohonem na principu Master-Slave o výkonu 140 kW
<b>2012</b>	Definice nových produktových řad – BASICTURN, POWERTURN, EXPERTTURN a FORCETURN

### Svislý soustruh řady BASICTURN

V diplomové práci se zabývám racionalizací speciálního vybavení – tělesa brusky na stroj řady BASICTURN, proto si dovoluji představit základní údaje těchto strojů [2]:

- rám stroje s vysokou tuhostí a stabilitou,
- konstrukce s důrazem na funkčnost a snadnou údržbu,
- předdefinované konfigurace umožňující rychlou dodávku,
- volitelný řídicí systém Siemens nebo Fanuc,
- možnost vybavení stroje polohováním upínací desky (C-osou) a náhonem rotačních nástrojů,
- automatická výměna soustružnických i rotačních nástrojů,
- smykadlo navržené pro efektivní a přesné obrábění,
- variabilní výška pracovního prostoru,
- možnost přívodu chlazení středem nástroje,
- moderní a uživatelsky přívětivé ovládání.



Obr. 2 BASICTURN [2].

Tab. 2 Technické údaje stroje BASICTURN [2].

BASICTURN	800	1000	1250	1600	2000	2500	3000						
PRACOVNÍ ROZSAH													
Maximální průměr obrobku	mm	1000	1200	1400	1260	1500	2000	1900	2000	2400	2900	3600	
Maximální výška obrobku	mm	1000	1200	1350 (1850)	1400 (1900)	1200	1450 (1950)	1500 (2000)	1200	1450 (1950)	1500 (2000)	1890 (2490)	1940 (2540)
Maximální hmotnost obrobku	kg	3000	4000	8000	5000	12000	8000	20000	12000	25000	25000	25000	
UPÍNACÍ DESKA													
Průměr upínací desky	mm	800	1000	1250	1600	2000	2500	3000					
Výkon hl. motoru	kW	2 × 22	2 × 22	40	2 × 22	60	2 × 22	60	2 × 22	60	60	60 (80)	
Maximální otáčky upínací desky	ot/min	530	530	400 (630)	530	315 (400)	400	250 (315)	315	200 (250)	200	200	
PŘÍČNIKOVÝ SUPORT													
Průřez smykadla	mm	Ø 205	Ø 205	200 × 240	Ø 205	200 × 240	Ø 205	200 × 240	Ø 205	200 × 240	200 × 240	200 × 240	
Pracovní zdvih smykadla (osa Z)	mm	900	900	1060	900	1060	900	1060	900	1060 (1360)	1060 (1360)	1060 (1360)	
AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ													
Kapacita zásobníku nástrojů		12	12	17 (45)	12	17 (45)	12	17 (45)	12	17 (45)	12	12	
NÁHON ROTAČNÍCH NÁSTROJŮ													
Výkon motoru (Siemens / Fanuc)	kW	20 / 22	20 / 22	20 (28) / 22	20 / 22	20 (28) / 22	20 / 22	20 (28) / 22	20 / 22	20 (28) / 22	20 (28) / 22	20 (28) / 22	
Maximální otáčky rotačních nástrojů	ot/min	2500	2500	3000	2500	3000	2500	3000	2500	3000	3000	3000	

## 1 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

V kapitole jsou charakterizovány jednotlivé technologie výroby a následně je popsán stávající postup výroby tělesa brusky.

### 1.1 Charakteristika použitých technologií výroby

Technologie obrábění jako vědní obor studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu jako integrální složky výrobního procesu strojírenských součástí. Obráběcí proces se realizuje v obráběcím systému, který lze obecně členit na subsystémy obráběcích strojů, řezných nástrojů, manipulačních prostředků a obráběcího prostředí. Objektem obráběcího procesu je obrobek a základním výstupem obráběcího procesu jsou příslušné obrobené plochy [3].

Obrábění - technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti odebráním částic materiálu účinky mechanickými, elektrickými, chemickými, případně jejich kombinací [3].

#### 1.1.1 Soustružení

Soustružení je obráběcí metoda používaná pro zhotovení součástí rotačních tvarů, většinou pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a také nejužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. Soustružením lze obrábět vnější a vnitřní válcové, kuželové i tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, vyrábět hřbetní plochy tvarových fréz podsoustružováním [3].

Hlavní pohyb je rotační a koná ho obrobek, přičemž rychlost tohoto pohybu je současně řeznou rychlostí  $v_c$  (1.1), posuvový pohyb obvykle vykonává nástroj a je přímočarý nebo obecný, rychlost posuvového pohybu  $v_f$  lze určit dle vztahu (1.2). Při soustružení válcové plochy se řezný pohyb realizuje po šroubovici a při soustružení čelní plochy se realizuje po Archimédově spirále. Během soustružení rotační plochy obecného tvaru se řezný pohyb realizuje po obecné prostorové křivce. Rychlost řezného pohybu  $v_e$  lze vyjádřit vztahem (1.3) [3].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.1)$$

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.3)$$

kde:  $D$  [mm] - průměr obráběné plochy  
 $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] - otáčky obrobku  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku obrobku

Identifikace rozměrů průřezu třísky pro základní případy soustružení je uvedena na obrázku 1.1. Šířka záběru ostří  $a_p$  se vyjádří podle vztahu [3]:

pro podélné soustružení [3]:

$$a_p = 0,5 \cdot (D - d) \quad [\text{mm}] \quad (1.4)$$

pro čelní soustružení [3]:

$$a_p = L - l \quad [\text{mm}] \quad (1.5)$$

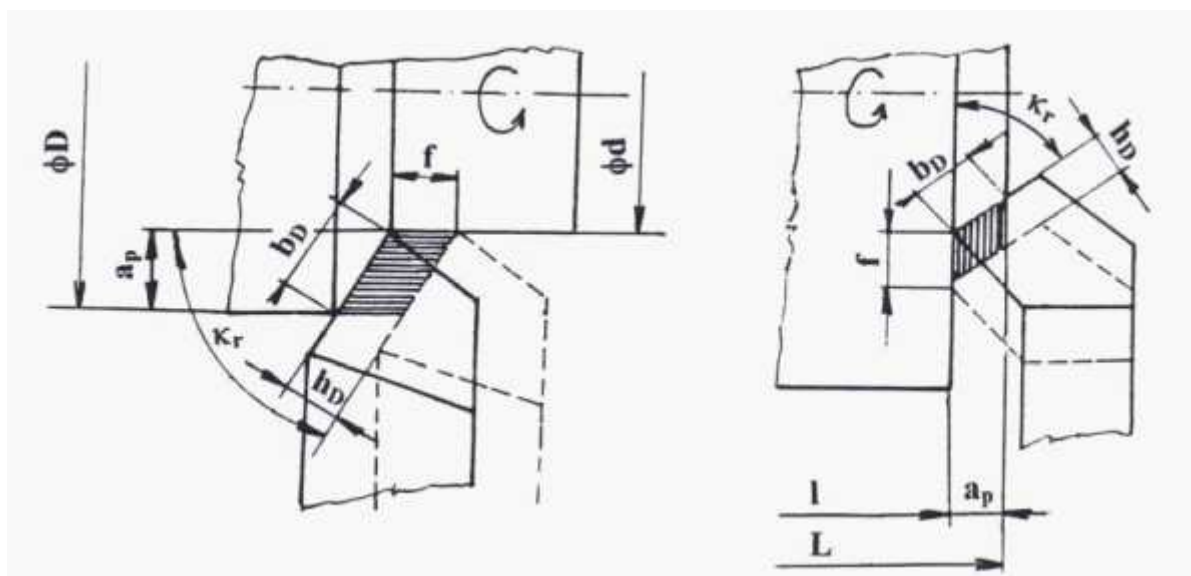
Jmenovitá šířka třísky  $b_D$  a jmenovitá tloušťka třísky  $h_D$  se vypočítají podle vztahů [3]:

$$b_D = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (1.6)$$

$$h_D = f \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (1.7)$$

Jmenovitý průřez třísky  $A_D$  se stanoví podle vztahu [3]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f \quad [\text{mm}^2] \quad (1.8)$$



a) válcová plocha

b) čelní plocha

$a_p$  - šířka záběru ostří,  $b_D$  - jmenovitá šířka třísky,  $h_D$  - jmenovitá tloušťka třísky,  $\kappa_r$  - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří,  $D$  - průměr obráběné plochy,  $d$  - průměr obrobené plochy,  $L$  - délka obráběné plochy,  $l$  - délka obrobené plochy

Obr. 1.1 Identifikace průřezu třísky při soustružení [3].

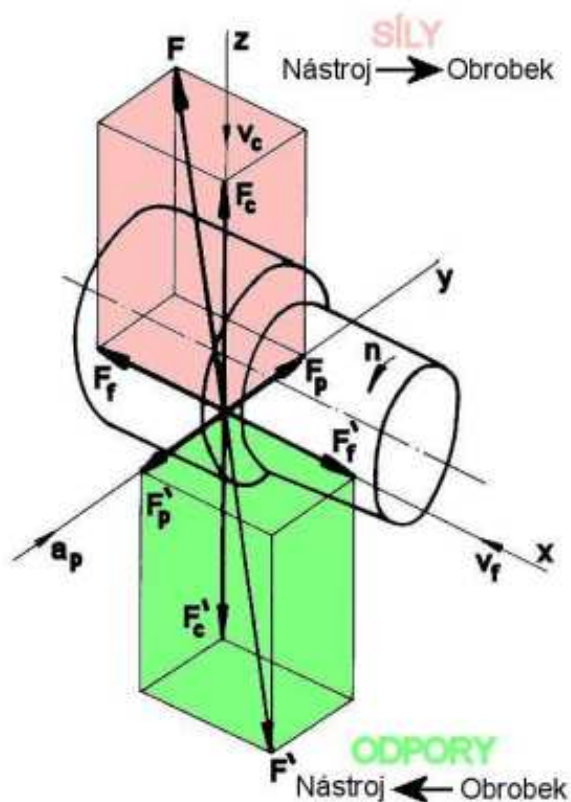
Celková řezná síla  $F$  je složena z následujících složek – řezná síla  $F_c$ , posuvová síla  $F_f$  a pasivní síla  $F_p$ . Pro podélné soustružení válcových ploch je možné jednotlivé složky řezné síly spočítat podle následujících vztahů [3]:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (1.9)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (1.10)$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \quad [\text{N}] \quad (1.11)$$

kde:  $C_{Fc}, C_{Ff}, C_{Fp}$  [-] - materiálové konstanty  
 $x_{Fc}, x_{Ff}, x_{Fp}$  [-] - exponenty vlivu šířky záběru ostří  $a_p$   
 $y_{Fc}, y_{Ff}, y_{Fp}$  [-] - exponenty vlivu posuvu  $f$   
 $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku



Obr. 1.2 Řezné síly a odpory při podélném soustružení [3].

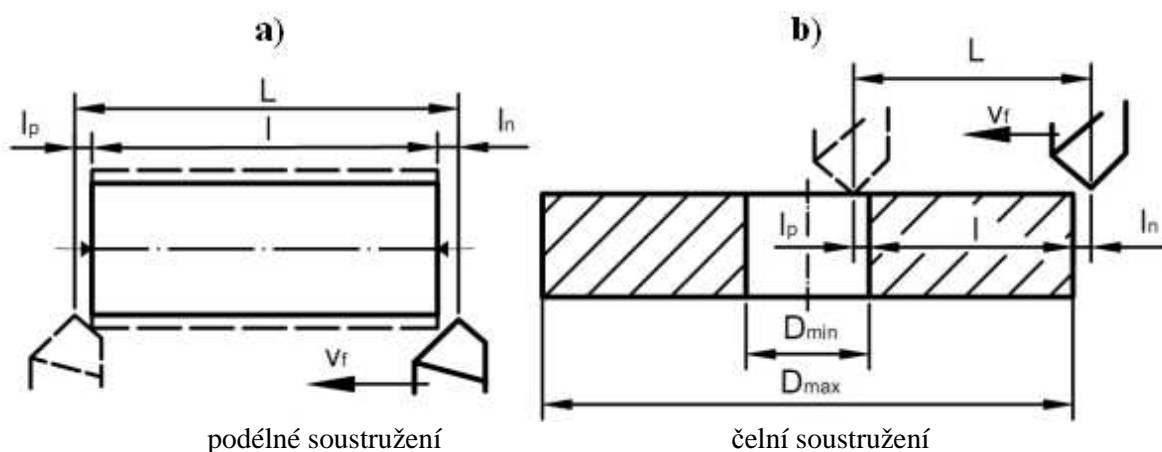
Celkovou řeznou sílu pak získáme dosazením jednotlivých složek síly do vztahu (1.30). Použitím vztahu (1.31) vypočítáme celkový výkon obráběcího stroje, který je potřebný k pokrytí řezného výkonu a pasivních odporů stroje [3]:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad [\text{N}] \quad (1.12)$$

$$P_m = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} \quad [\text{kW}] \quad (1.13)$$

- kde:
- |                              |   |
|------------------------------|---|
| $F_c$ [N]                    | - řezná síla                            |
| $F_f$ [N]                    | - posuvová síla                         |
| $F_p$ [N]                    | - pasivní síla                          |
| $v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ] | - řezná rychlost                        |
| $\eta$ [-]                   | - mechanická účinnost obráběcího stroje |

Na obr. 1.3 vidíme, jak se liší parametry pro výpočet jednotkového strojního času při podélném a čelním soustružení. Společnou a důležitou hodnotou pro oba typy soustružení je délka dráhy nástroje  $L$  ve směru posuvu.



Obr. 1.3 Určení jednotkového strojního času [4].

Pro výpočet strojního času pro podélné soustružení válcové plochy (obr. 1.3a) nejprve použijeme vztah (1.14) pro výpočet celkové délky dráhy nástroje  $L$  a ten pak dosadíme do vztahu (1.15) [3]:

$$L = l_n + l + l_p \quad [\text{mm}] \quad (1.14)$$

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (1.15)$$

- kde:
- $l_n$  [mm] - délka náběhu
  - $l$  [mm] - délka soustružené plochy
  - $l_p$  [mm] - délka přeběhu
  - $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] - otáčky obrobku
  - $f$  [mm] - posuv na otáčku

U soustružení čelních ploch (obr. 1.3b) je důležité rozdělení výpočtu jednotkového strojního času obrábění při konstantních otáčkách obrobku  $t_{ASn}$  a obrábění konstantní řeznou rychlostí  $t_{ASv}$ . Pro výpočet  $t_{ASn}$  se použije vztah (1.15), dráhu  $L$  lze vypočítat ze vztahu (1.16). Čas  $t_{ASv}$  se vypočítá dle vztahu (1.37) [5]:



$$L = \frac{[(D_{\max} + 2 \cdot l_n) - (D_{\min} - 2 \cdot l_p)]}{2} \quad [\text{mm}] \quad (1.16)$$

$$t_{\text{ASv}} = \frac{\pi \cdot [(D_{\max} + 2 \cdot l_n)^2 - (D_{\min} - 2 \cdot l_p)^2]}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (1.17)$$

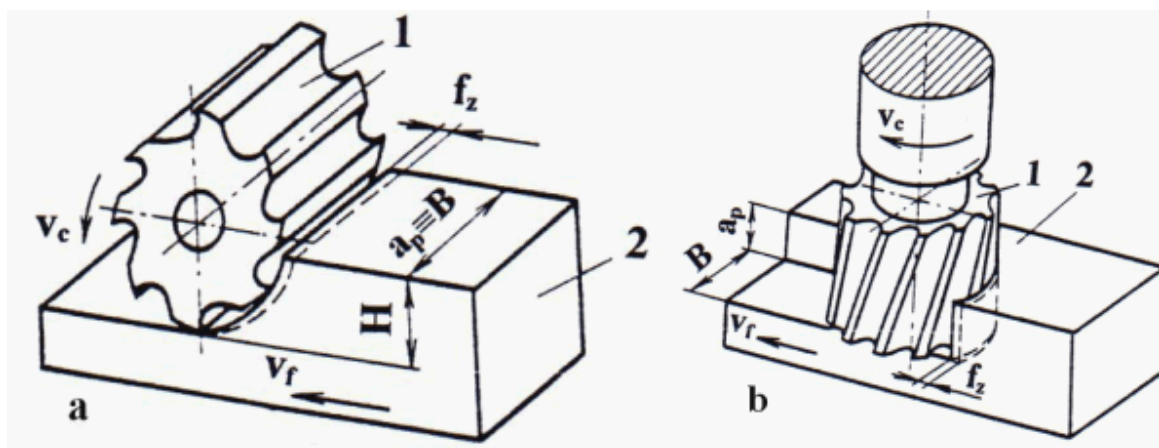
kde:  $v_c$  [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ] - řezná rychlost

$f$  [mm] - posuv na otáčku

### 1.1.2 Frézování

Při frézování je tříska odebrána břity rotujícího nástroje - frézou. Hlavní pohyb při frézování je rotační a vykonává ho nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je obvykle přímočarý a vykonává ho obrobek. U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat ve více směrech zároveň (víceosá obráběcí centra). Řezný proces je přerušovaný, protože každý zub odřezává krátké třísky většinou proměnlivé tloušťky [5].

Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje frézování čelní a frézování válcové - obr. 1.4



a) válcové frézování

b) čelní frézování

1 - fréza; 2 - obrobek;  $a_p$  - šířka záběru ostří;  $B$  - šířka frézované plochy;  $H$  - hloubka odebírané vrstvy;  $v_f$  - posuvová rychlost;  $f_z$  - posuv na zub;  $v_c$  - řezná rychlost

Obr. 1.4 Technologie frézování [6].

### Válcové frézování

Podle způsobu otáčení nástroje pak rozlišujeme dva druhy válcového frézování, a to sousledné (obr. 1.5) a nesousledné (obr. 1.6):

- sousledné frézování (souměrné)

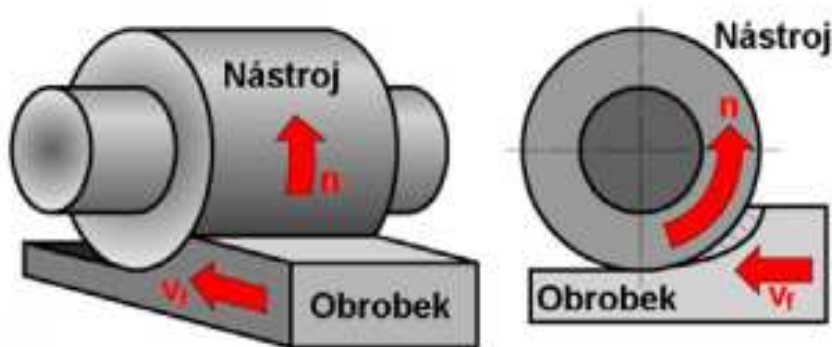
Smysl rotace nástroje je při sousledném (souměrném) frézování takový, že ostří se v místě styku pohybuje ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z maximální hodnoty do minimální („nulové“). K tomu, abychom mohli na stroji provádět sousledné frézování, musí být konvenční neboli klasická frézka přizpůsobena tak, že se vymezí vůle a předpětí mezi posunovým šroubem a maticí stolu. Pokud není tato podmínka splněna, může dojít k poškození nástroje a dokonce i stroje [5].

Výhody sousledného frézování [5]:

- vyšší trvanlivost nástrojů,
- použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- potřebný nižší řezný výkon pro obrábění,
- jednodušší upínání (síla řezání přitlačuje obrobek ke stolu),
- menší sklon ke kmitání,
- obrobená plocha dosahuje vyšší jakosti.

Nevýhody sousledného frézování [5]:

- nevhodné při obrábění polotovarů s tvrdým a znečištěným povrchem,
- silová zátěž každého zubu při záběru.



Obr. 1.5 Sousledné frézování [3]

- nesousledné frézování (nesouměrné)

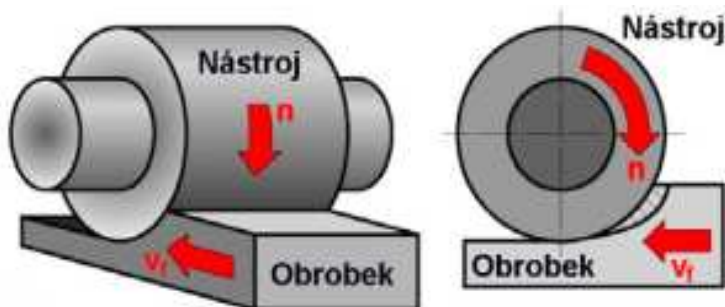
Při nesousledném frézování se ostří rotujícího nástroje v místě styku pohybuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Proměnlivá tloušťka třísky se mění od minimální („nulové“) hodnoty na hodnotu maximální. Při vnikání nástroje do materiálu z počátku břit materiál pouze stlačuje. K oddělování třísky dochází v okamžiku, kdy tloušťka odřezávané vrstvy dosáhne určité velikosti. Důvodem je skutečnost, že ostří frézy nemůže být ostrá hrana, ale ploška o poloměru cca  $R = 8$  až  $30 \mu\text{m}$ . Silové účinky a deformace, vznikající při nesousledném frézování, způsobují zvýšené opotřebení břitu [5].

Výhody nesousledného frézování [5]:

- menší opotřebení stroje (šroubu a matice),
- počáteční záběr zubů nezávisí na hloubce řezu,
- na trvanlivost nástroje nemá až tak významný vliv povrch obrobku.

Nevýhody nesousledného frézování [5]:

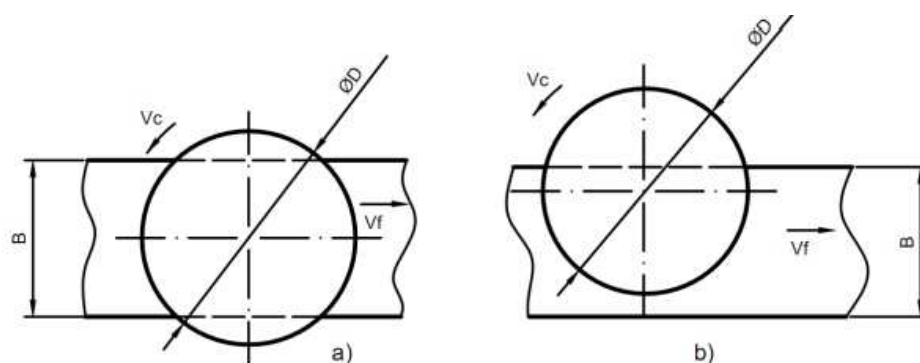
- zhoršená jakost obrobené plochy,
- směr síly frézování s ohledem na upnutí.



Obr. 1.6 Nesousledné frézování [3]

### Čelní frézování

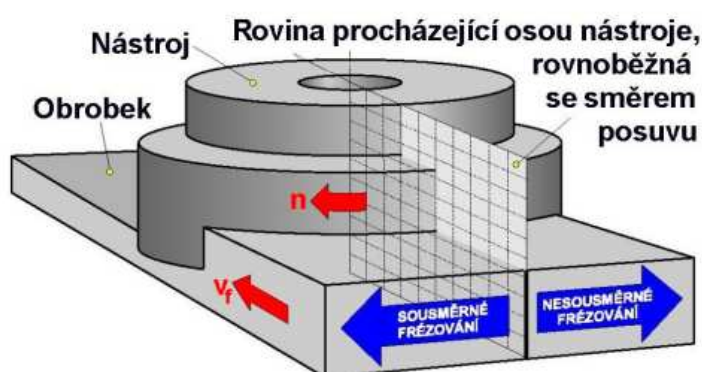
Čelní frézování se uplatňuje při práci s čelními frézami, které mají břity vytvořeny na obvodě i čele nástroje. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozlišuje symetrické (osa nástroje prochází středem frézované plochy) a nesymetrické frézování (osa nástroje je mimo střed frézované plochy) - obr. 1.7. U čelního frézování pracuje fréza současně sousledně i nesousledně obr. 1.8 [3].



a) symetrické

b) nesymetrické

Obr. 1.7 Čelní frézování [4].



Obr. 1.8 Čelní frézování [3].

Řezný pohyb má tvar cykloidy, která se liší velmi málo od kruhové dráhy z níž vycházíme při výpočtu hlavního parametru, tj. řezné rychlosti [5]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.18)$$

kde:  $D$  [mm] - průměr nástroje  
 $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] - otáčky nástroje

Základní jednotkou posuvového pohybu je posuv na zub  $f_z$  [mm], což je délka dráhy, kterou ujede obrobek po dobu záběru zubu. Z posuvu na zub lze vypočítat posuv na otáčku  $f_n$  (délka dráhy, kterou ujede obrobek po dobu jedné otáčky nástroje) [3]:

$$f_n = f_z \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (1.19)$$

kde:  $z$  [-] - počet zubů (břitů) nástroje

Posuvová rychlost [3]:

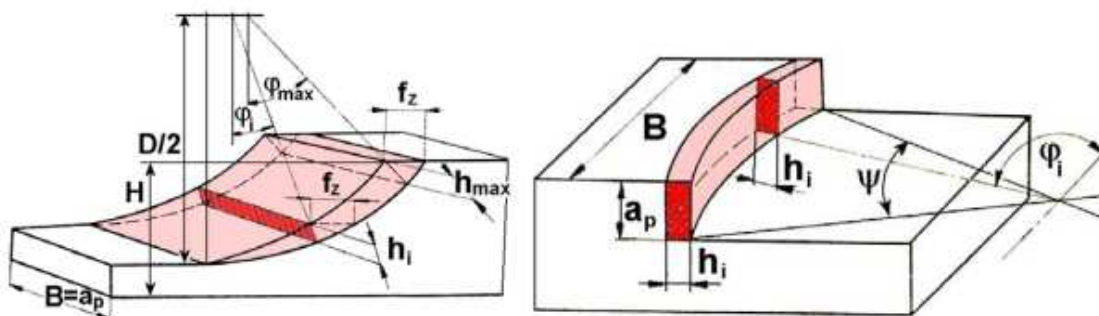
$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.20)$$

Tloušťka odřezávané třísky  $h_i$  se při válcovém nesousledném frézování mění od nulové do maximální hodnoty a od maximální hodnoty do nuly při frézování sousledném. Jmenovitá tloušťka třísky  $h_i$  v libovolné fázi jejího odřezávání se vyjádří vztahem (1.21) [3]:

$$h_i = f(\varphi_i) = f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{mm}] \quad (1.21)$$

kde:  $f_z$  [mm] - posuv na zub  
 $\varphi_i$  [°] - úhel posuvového pohybu

Úhel posuvového pohybu  $\varphi_i$  se mění nejen v závislosti na poloze řešeného zubu, ale u fréz se šikmými zuby nebo zuby ve šroubovici, také podél příslušného ostří [5].



Obr. 1.9 Průřez třísky při válcovém a čelním frézování [5].

Označení jmenovitého průřezu třísky pro polohu frézy  $i$  je  $A_{Di}$ . Pro poměry naznačené v obrázku 1.9 se vypočítá ze vztahu [3]:

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{mm}^2] \quad (1.22)$$

U čelního frézování také platí, že se tloušťka třísky mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu  $\varphi_i$ . Má na něj také vliv úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  (na obr. 1.9 je hodnota  $\kappa_r = 90^\circ$ ). Okamžitou hodnotu lze vypočítat ze vztahu [5]:

$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (1.23)$$

Jmenovitá šířka třísky  $b_i$  je pro libovolné  $\varphi_i$  konstantní a vypočítá se podle vztahu [5]:

$$b_i = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (1.24)$$

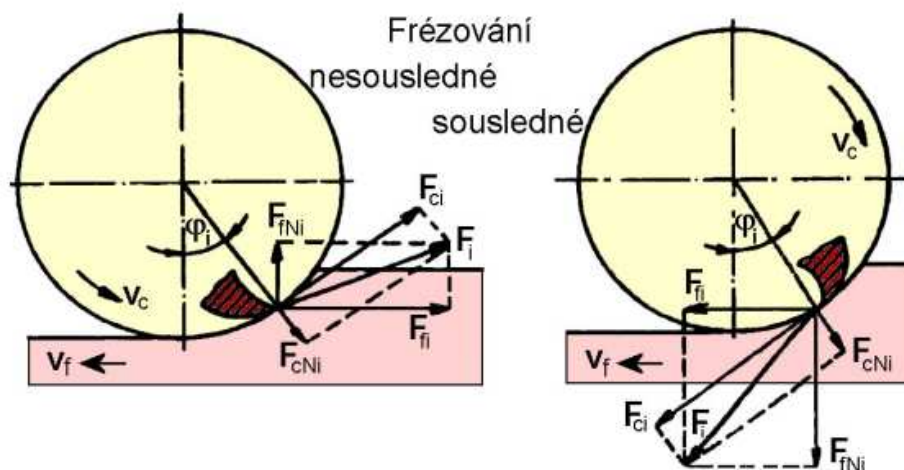
Jmenovitý průřez třísky  $A_{Di}$  pro  $\kappa_r = 90^\circ$  [5]:

$$A_{Di} = b \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{mm}^2] \quad (1.25)$$

Maximální velikost jmenovitého průřezu třísky je při  $\varphi_i = 90^\circ$ , takže [5]:

$$A_{Dmax} = a_p \cdot f_z \quad [\text{mm}^2] \quad (1.26)$$

Při specifikaci řezných sil při frézování se vychází ze silových poměrů na jednom břitu, který je v poloze určené úhlem  $\varphi_i$ . Pro válcové frézování nástrojem s přímými zuby se celková řezná síla působící na břitu  $F_i$  rozkládá na složky  $F_{ci}$  a  $F_{cNi}$ , resp. na složky  $F_{fi}$  a  $F_{fNi}$  - obr. 1.10 [3].



$F_i$  - celková řezná síla  $F_{ci}$  - řezná síla  $F_{cNi}$  - kolmá řezná síla

$F_{fi}$  - posuvová síla  $F_{fNi}$  - kolmá posuvová síla

Obr. 1.10 Řezné síly na zubu válcové frézy v pracovní rovině Pfe [3].

Řeznou složku síly  $F_{ci}$  ovlivňuje měrná řezná síla  $k_{ci}$  a průřez třísky  $A_{Di}$  [3]:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{N}] \quad (1.27)$$

Měrná síla řezání se vypočítá podle vztahu [3]:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{1-x}} \quad [\text{MPa}] \quad (1.28)$$

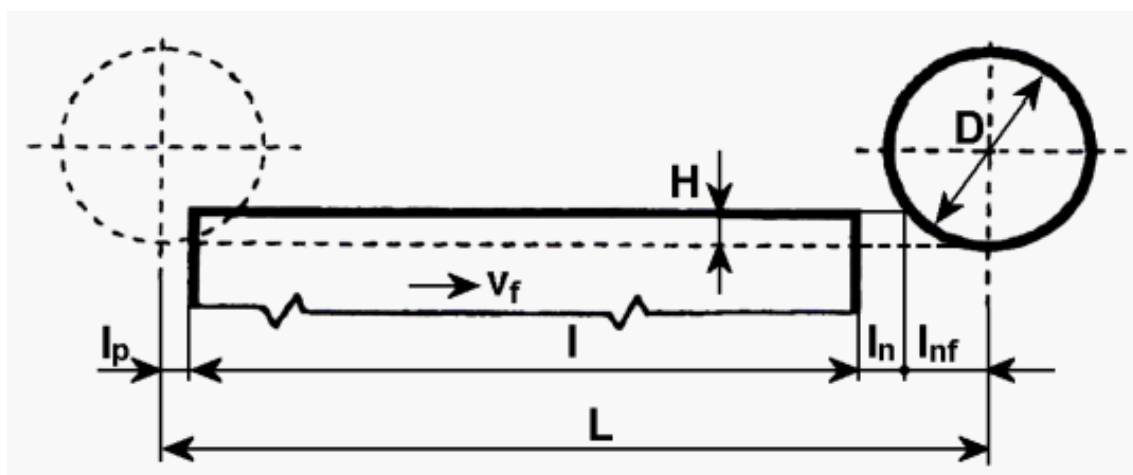
kde:  $C_{Fc}$  [-] - konstanta, vyjadřující vliv obrábění materiálu

$x$  [-] - exponent vlivu tloušťky třísky

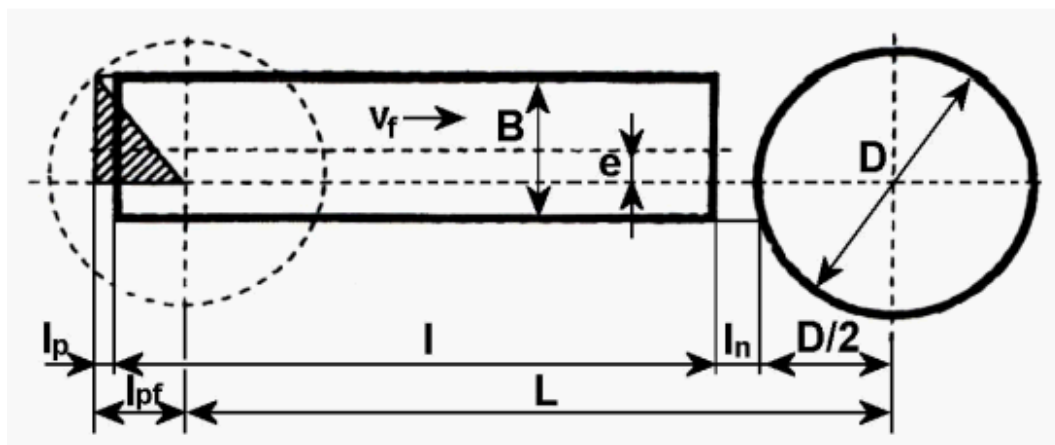
Dosadíme-li do vztahů 1.27 a 1.28, pak dostaneme [5]:

$$F_{Ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \cdot \sin^x \varphi_i \quad [\text{N}] \quad (1.29)$$

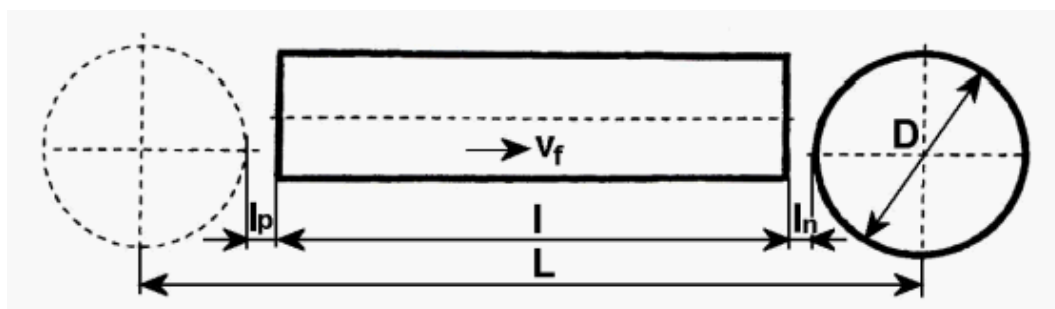
Na obrázcích 1.11 až 1.13 jsou znázorněny poměry pro základní případy frézování, z nichž lze určit jednotkový strojní čas [5].



Obr. 1.11 Dráha frézy pro válcové frézování [5].



Obr. 1.12 Dráha frézy pro hrubé čelní frézování asymetrické [5].



Obr. 1.13 Dráha frézy pro čelní frézování načisto asymetrické [5].

Obecně můžeme jednotkový strojní čas vyjádřit následovně [3]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad [\text{min}] \quad (1.30)$$

kde:  $L$  [mm] - dráha nástroje ve směru posuvového pohybu  
 $v_f$  [mm·min<sup>-1</sup>] - posuvová rychlost

Hodnota  $L$  pro jednotlivé způsoby frézování se vyjádří podle následujících vztahů:

a) válcové frézování [5]:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} \quad [\text{mm}] \quad (1.31)$$

$$\text{kde: } l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} \quad [\text{mm}] \quad (1.32)$$

b) čelní hrubé frézování asymetrické [5]:

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} \quad [\text{mm}] \quad (1.33)$$

$$\text{kde: } l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} \quad [\text{mm}] \quad (1.34)$$

c) čelní frézování načisto asymetrické [5]:

$$L = l + l_n + l_p + D \quad [\text{mm}] \quad (1.35)$$



### 1.1.3 Vrtání

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují díry zplna, nebo zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, předkované, atd.). Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj (vrták), méně často obrobek. Osa vrtáku je zpravidla kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Posuvový (vedlejší) pohyb, ve směru své osy, vykonává vrták [7].

Při vrtání záleží na tom, zda jde o díry průchozí nebo neprůchozí (slepé). Průchozí díry se z technologického hlediska obrábí poměrně snadno. U neprůchozích děr se musí brát zřetel na její zakončení, na zabezpečení přesné hloubky vrtání, na nutnost odřezávání zbytku třísky na dně díry atd. Třísky se ze dna díry odřezávají tak, že vrták po zastavení posuvu udělá ještě několik otáček [5].

Charakteristickou vlastností všech nástrojů na díry je, že řezná rychlost se podél hlavního ostří, ve směru od obvodu ke středu nástroje, zmenšuje (v ose nástroje dosahuje nulovou hodnotu). Za řeznou rychlost se proto považuje obvodová rychlost na jmenovitém (největším) průměru nástroje. Hodnoty řezné rychlosti  $v_c$ , posuvové rychlosti  $v_f$  a rychlosti řezného pohybu  $v_e$  se vyjádří na základě vztahů [7]:

$$v_f = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.36)$$

$$v_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.37)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.38)$$

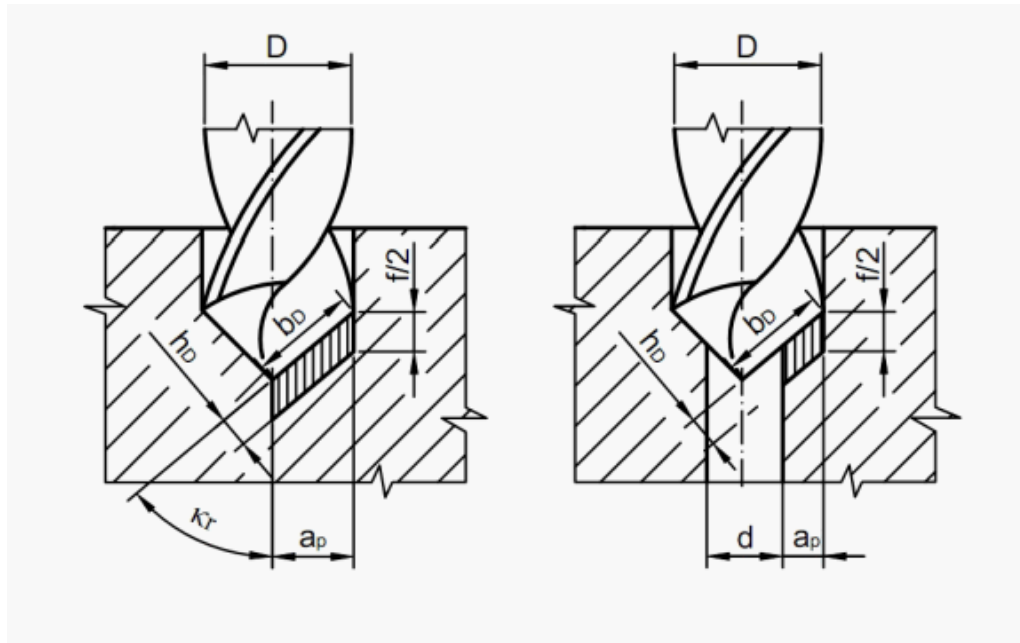
kde:  $D$  [mm] - průměr obráběné díry  
 $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] - otáčky nástroje  
 $f$  [mm] - posuv nástroje na jednu otáčku

Protože jsou vrtáky vždy vícebřité nástroje, můžeme ve všech případech definovat i hodnotu posuvu na zub  $f_z$  [7]:

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (1.39)$$

kde:  $z$  [-] - počet zubů nástroje

Při výpočtu průřezu třísky  $A_D$  pro vrtání do plného materiálu a při zvětšování předvrtané díry vycházíme z parametrů uvedených na obr. 1.14, kdy je tříska odebírána jedním břitem šroubovitého vrtáku [5].



Obr. 1.14 Průřez třísky při vrtání dvoubřítým šroubovým vrtákem [4].

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.40)$$

kde:  $b_D$  [mm] - jmenovitá šířka třísky  
 $h_D$  [mm] - jmenovitá tloušťka třísky  
 $a_p$  [mm] - šířka záběru ostří  
 $f$  [-] - posuv na otáčku

Pro vrtání do plného materiálu je šířka záběru ostří  $a_p = D/2$ , pro vrtání do předpracované díry  $a_p = (D-d)/2$ . Po dosazení do (1.40) dostane rovnice pro výpočet průřezu třísky, odebírané jedním břitem nástroje při vrtání do plného materiálu, konečný tvar [7]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.41)$$

a při vrtání do předpracovaného otvoru [7]:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.42)$$

Pro dvoubřitý nástroj se celkový průřez třísky vyjádří následovně:

při vrtání do plného materiálu [5]:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.43)$$

do předpracovaného otvoru [5]:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{2} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.44)$$

Další parametry vrtání spočítáme podle následujících vztahů:

jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu [5]:

$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (1.45)$$

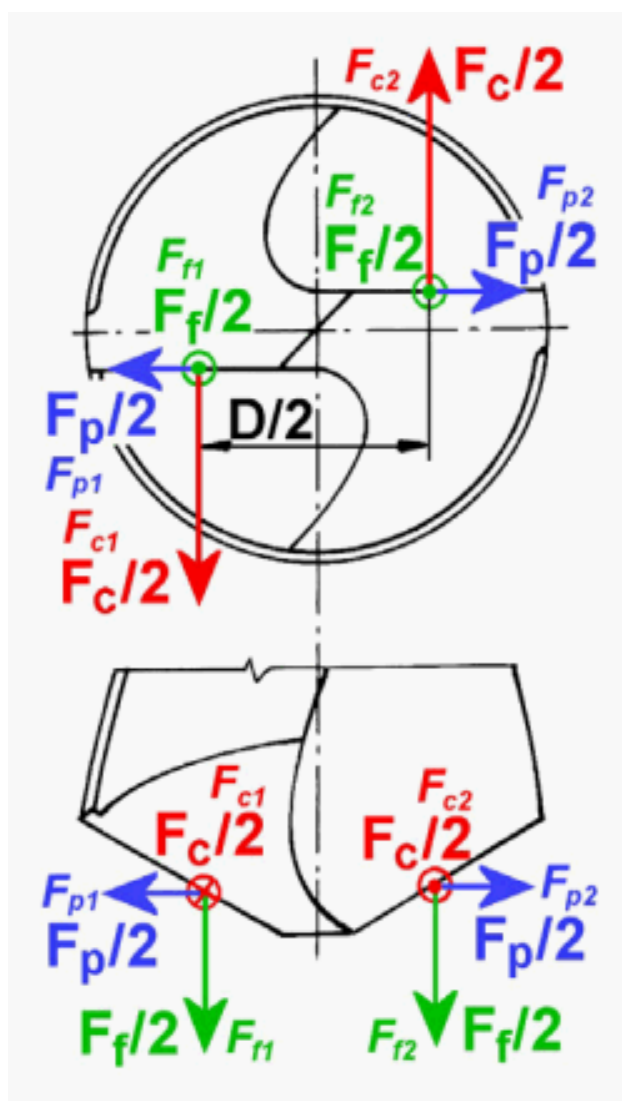
jmenovitá šířka třísky při vrtání do předpracovaného materiálu [5]:

$$b_D = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}] \quad (1.46)$$

jmenovitá tloušťka třísky [5]:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (1.47)$$

Aby mohl vrták překonat odpor vznikající při obrábění, musí na něj působit síla řezání a její složky. Standardní šroubovitý nebo kopinatý vrták mají 2 břity, které jsou symetricky postaveny vůči jeho ose. Pro získání výsledné síly řezání musíme uvažovat složky působící na obou břitech nástroje [5], jak je vidět na obrázku 1.15:



Obr. 1.15 Řezné síly při vrtání [7].

posuvová síla [7]:  $F_f = F_{f1} + F_{f2}$  [N] (1.48)

pasivní síla [7]:  $F_p = F_{p1} - F_{p2}$  [N] (1.49)

řezná síla [7]:  $F_c = F_{c1} + F_{c2}$  [N] (1.50)

Správné a přesné naostření zaručí na obou břitech stejné síly a odpory [5]:

$$F_{f1} = F_{f2} = \frac{F_f}{2} \quad [\text{N}] \quad (1.51)$$

$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{F_p}{2} \quad [\text{N}] \quad (1.52)$$

**a tedy  $F_p=0$**

$$F_{c1} = F_{c2} = \frac{F_c}{2} \quad [\text{N}] \quad (1.53)$$

Jednotlivé složky síly můžeme určit také podle empirických vztahů [5]:

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad (1.54)$$

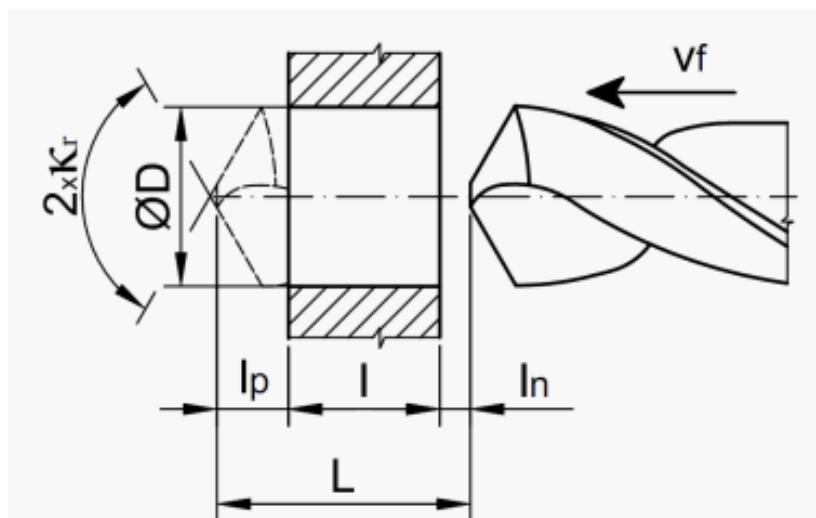
$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad (1.55)$$

kde:  $C_{Fc}, C_{Ff} [-]$  - materiálové konstanty  
 $x_{Fc}, x_{Ff} [-]$  - exponenty vlivu průměru vrtáku  
 $y_{Fc}, y_{Ff}, y_{Fp} [-]$  - exponenty vlivu posuvu na otáčku  
 $D [\text{mm}]$  - průměr vrtáku  
 $f [\text{mm}]$  - posuv na otáčku

Známe-li řeznou rychlost a řeznou sílu, můžeme vypočítat řezný výkon stroje [7]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 10^3} = \frac{F_c \cdot v_c}{1,2 \cdot 10^5} \quad [\text{kW}] \quad (1.56)$$

K výpočtu jednotkového strojního času použijeme obrázek 1.16.



Obr. 1.16 Dráha nástroje ve směru posuvu při vrtání šroubovým vrtákem [4].

Vyjádření jednotkového strojního času [5]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (1.57)$$

kde:  $l_n$  [mm] - náběh vrtáku  
 $l$  [mm] - délka vrtané díry  
 $l_p$  [mm] - přeběh vrtáku  
 $v_f$  [mm·min<sup>-1</sup>] - posuvová rychlost  
 $n$  [min<sup>-1</sup>] - otáčky vrtáku  
 $f$  [mm] - posuv na otáčku

pro standardní vrtáky s úhlem špičky  $2\kappa_r=118^\circ$  je [5]:

$$l_n = (0,5 \div 1) \quad [\text{mm}] \quad (1.58)$$

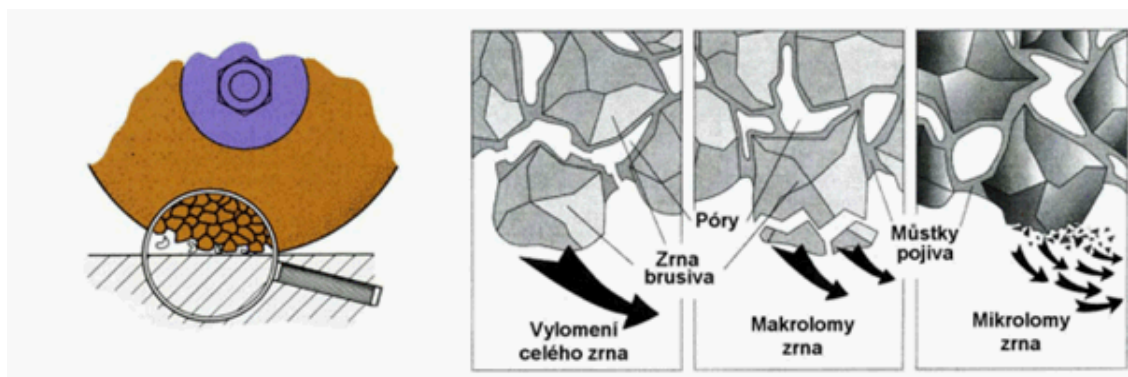
$$l_p = 0,5D \cdot \operatorname{tg}31^\circ + (0,5 \div 1) \cong 0,3D + (0,5 \div 1) \quad [\text{mm}] \quad (1.59)$$

#### 1.1.4 Broušení

Velmi přesných a jakostních povrchů se v současnosti dosahuje početnými technologiemi, např. mechanickým, chemickým a elektrochemickým vyrovnáváním nerovností. Patří mezi ně i abrazivní metody obrábění, které jsou charakterizovány použitím nástrojů s nedefinovatelnou řeznou geometrií břitu, a to konkrétně broušení, honování, lapování a superfinišování. [5].

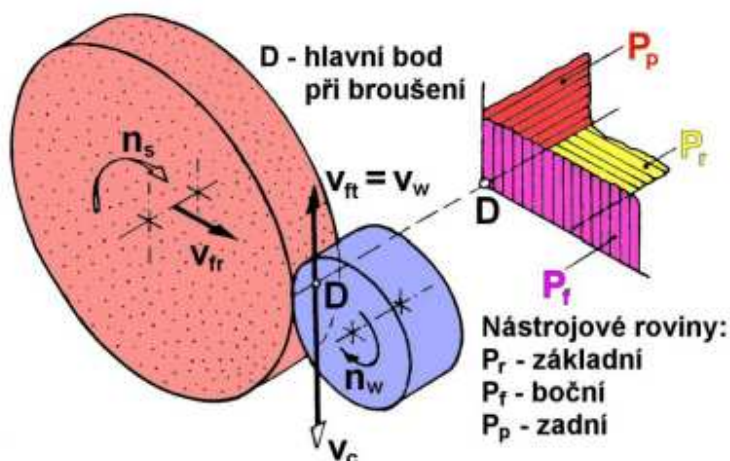
Broušení lze charakterizovat jako obrábění mnohobřitým nástrojem vytvořeným ze zrn brusiva, která jsou spojena pojivem. Historicky patří mezi nejstarší metody obrábění materiálů, které člověk využíval již v prehistorických dobách k výrobě nebo úpravě životně důležitých pomůcek, především k ostření pracovních nástrojů a zbraní. V současné době je broušení využíváno jako hlavní metoda dokončovacího obrábění ve strojírenské výrobě, např. v automobilové výrobě, tvoří brusky a další dokončovací obráběcí stroje 25 % a ve výrobě valivých ložisek až 60 % všech obráběcích strojů [8].

Na obr. 1.17 vidíme základní charakteristické znaky procesu broušení.



Obr. 1.17 Nepravidelný úběr třísky a vylamování zrn [5].

Stejně jak při jiných způsobech obrábění určuje kinematika broušení hlavní řezný a vedlejší posuvný pohyb. Obrobek vykonává přímočarý nebo rotační vedlejší pohyb a nástroj pracovní rotační pohyb, definovaný jako hlavní, respektive řezný pohyb. Výsledný pohyb je tedy dán většinou výslednicí pohybu obrobku a brusného kotouče [5].



$n_s$  – frekvence otáčení brousícího kotouče;  $n_w$  – frekvence otáčení obrobku;  $v_c$  – řezná rychlost  
 $v_w$  – obvodová rychlost obrobku;  $v_{ft}$  – tangenciální rychlost posuvu;  $v_{fr}$  – radiální rychlost posuvu;

Obr. 1.18 Obvodové vnější broušení „dokulata“ radiálním způsobem [5].

Řezná rychlost se vyjádří vztahem [8]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.60)$$

kde:  $d_s$  [mm] - průměr brousícího kotouče  
 $n_s$  [ $\text{min}^{-1}$ ] - frekvence otáčení brousícího kotouče

Obvodová rychlost obrobku  $v_w$  při broušení do kulata se vyjádří vztahem [8]:

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.61)$$

kde:  $d_w$  [mm] - průměr obrobku  
 $n_w$  [ $\text{min}^{-1}$ ] - frekvence otáčení obrobku

Vzhledem k omezené platnosti a složitosti vztahů pro výpočet parametrů třísky ubírané jednotlivými zrny broušicího nástroje je pro výpočty při broušení využívána teoretická hodnota ekvivalentní tloušťky broušení  $h_{eq}$ . Při jejím odvození se vychází z kontinuity materiálu, který na jedné straně do oblasti řezání vstupuje a na druhé straně z ní vychází. Vrstva odebíraného materiálu o tloušťce např.  $f_r$  (vnější obvodové tangenciální broušení do kulata),  $f_a$  (vnější obvodové axiální broušení do kulata) nebo  $a_e$  (rovinné obvodové tangenciální broušení) vstupuje do oblasti řezání rychlostí  $v_w$ ,  $v_{ft}$ , apod. (opět závisí na způsobu broušení). Množství vytvořených třísek pak lze teoreticky spojit v jedinou plynulou vrstvu o tloušťce  $h_{eq}$ , která odchází z řezné oblasti rychlostí  $v_c$  [8].

Teoretické rozborů i experimentální výzkum prokázaly, že pomocí hodnoty  $h_{eq}$  lze stanovit např. řezné síly a odpory, měrné řezné síly a odpory, měrnou práci, výkon a měrný výkon a tím s dostatečnou přesností charakterizovat proces broušení, i jeho výsledky z hlediska dosažených parametrů obrobené plochy (tvar, rozměry, drsnost povrchu) [8].

Pro vnější obvodové tangenciální broušení dokulata existuje vztah [5]:

$$h_{eq} = \frac{v_w}{60 \cdot v_c} \cdot f_r \quad [\text{mm}] \quad (1.62)$$

kde:  $f_r$  [mm] - radiální posuv stolu brusky

Pro vnější obvodové axiální broušení „dokulata“ má vztah tvar [5]:

$$h_{eq} = \frac{v_w}{60 \cdot v_c} \cdot f_a = \frac{v_w}{60 \cdot v_c} \cdot \frac{1000 \cdot v_{fa}}{n_w} = \frac{100 \cdot v_w \cdot v_{fa}}{6 \cdot v_c \cdot n_w} \quad [\text{mm}] \quad (1.63)$$

kde:  $f_a$  [mm] - axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku

$v_{fa}$  [m·mm<sup>-1</sup>] - axiální rychlost posuvu stolu brusky

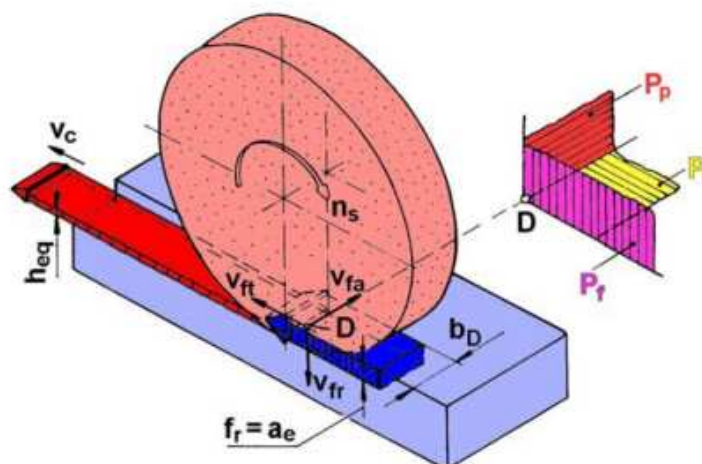
Hodnota ekvivalentní tloušťky broušení se pro rovinné obvodové tangenciální broušení s přímočarým pohybem stolu vyjádří podle vztahu [5]:

$$h_{eq} = \frac{v_{ft}}{60 \cdot v_c} \cdot a_e \quad [\text{mm}] \quad (1.64)$$



kde:  $a_e$  [mm] - pracovní záběr

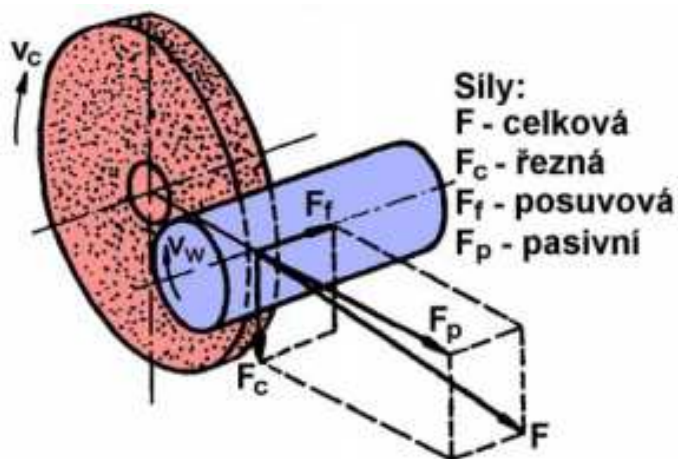
$v_{ft}$  [ $\text{m} \cdot \text{mm}^{-1}$ ] - tangenciální rychlost posuvu stolu brusky



Obr. 1.19 Rovinné obvodové tangenciální broušení s přímočarým pohybem [5]

Celková řezná síla  $F$  působí v obecném směru mezi brousicím kotoučem a obrobkem a rozkládá se do tří na sebe kolmých směrů. Ve směru řezné rychlosti leží řezná síla  $F_c$ , pasivní síla  $F_p$  je kolmá k broušené ploše a posuvová síla  $F_f$  působí ve směru podélného posuvu, tzn. kolmo na rovinu otáčení kotouče (obvykle platí, že  $F_p > F_c > F_f$  a poměr sil  $F_p/F_c$  dosahuje hodnot 1,2 až 3,0) [8].

Velikost řezných sil závisí zejména na obráběném materiálu, způsobu broušení, řezných podmínkách (velký vliv má zejména průřez třísky), dále na zrnitosti brusiva, druhu a tvrdosti pojiva a struktuře brousicího kotouče. S narůstajícím otupováním brousicího kotouče se řezná síla zvětšuje, v konečném důsledku až na několikanásobek své počáteční hodnoty [8].



Obr. 1.20 Silové poměry při obvodovém axiálním broušení „dokulata“ [5].

Orientačně je možné řeznou sílu  $F_c$  určit z experimentálně získaných vztahů. Pro obvodové axiální broušení vnějších rotačních ploch platí [8]:

$$F_c = 25 \cdot v_w^{0,6} \cdot f_a^{0,6} \cdot a_e^{0,5} \quad [\text{N}] \quad (1.65)$$

kde:  $v_w [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$  - obvodová rychlost obrobku

$f_a [\text{mm}]$  - axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku

$a_e [\text{mm}]$  - pracovní (radiální) záběr

Pro obvodové axiální broušení vnitřních rotačních ploch se hodnota  $F_c$  určí podle empirického vztahu [8]:

$$F_c = 2,5 \cdot v_w^{0,5} \cdot a_e^{0,4} \cdot f_a^{0,4} \cdot d_w^{0,3} \quad [\text{N}] \quad (1.66)$$

kde:  $v_w [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$  - obvodová rychlost obrobku

$f_a [\text{mm}]$  - axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku

$a_e [\text{mm}]$  - pracovní (radiální) záběr

$d_w [\text{mm}]$  - průměr obrobku

Pro obvodové tangenciální broušení rovinných ploch se hodnota  $F_c$  určí podle empirického vztahu [8]:

$$F_c = 6 \cdot v_c^{0,8} \cdot f_a^{0,8} \cdot a_e^{0,8} \quad [\text{N}] \quad (1.67)$$

kde:  $v_c [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$  - řezná rychlost

$f_a [\text{mm}]$  - axiální posuv stolu brusky na jeden zdvih

$a_e [\text{mm}]$  - pracovní (radiální) záběr

Hodnotu řezné síly  $F_c$  lze také vypočítat na základě vztahu [8]:

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad [\text{N}] \quad (1.68)$$

kde:  $k_c$  [MPa] - měrná řezná síla

$A_D$  [mm<sup>2</sup>] - průřez třísky

Hodnoty měrné řezné síly  $k_c$  = 10000 až 35000 MPa (pro oceli) a  $k_c$  = 4000 až 12000 MPa (pro litiny), vyšší hodnoty platí pro broušení na čisto a jemné broušení [5].

Průřez třísky  $A_D$  závisí na způsobu broušení. Pro vnější obvodové axiální broušení do kulata platí [8]:

$$A_D = f_a \cdot h_{eq} = \frac{10^3 \cdot v_{fa} \cdot h_{eq}}{n_w} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.69)$$

kde:  $f_a$  [mm] - axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku

$h_{eq}$  [mm] - ekvivalentní tloušťka broušení

$v_{fa}$  [m·min<sup>-1</sup>] - axiální rychlost posuvu stolu brusky

$n_w$  [min<sup>-1</sup>] - frekvence otáčení obrobku

Při rovinném obvodovém tangenciálním broušení s přímočarým pohybem stolu se hodnota průřezu třísky stanoví podle vztahu [5]:

$$A_D = b_D \cdot h_{eq} \quad [\text{mm}^2] \quad (1.70)$$

kde:  $b_D$  [mm] - šířka aktivní části brousicího kotouče

$h_{eq}$  [mm] - ekvivalentní tloušťka broušení

Stejně jak i předcházející výpočty i zde je výpočet hodnoty jednotkového strojního času závislý na způsobu broušení. Např. vnější axiální broušení „dokulata“ s radiálním posuvem stolu o hodnotu  $f_r$  na každý zdvih stolu, bez vyjiskřování má vztah pro výpočet jednotkového strojního času [5]:

$$t_{AS} = \frac{l_a}{f_a \cdot n_w} \cdot \frac{p}{2 \cdot f_r} = \frac{l_a \cdot p}{2 \cdot 10^3 \cdot v_{fa} \cdot f_r} \quad [\text{min}] \quad (1.71)$$

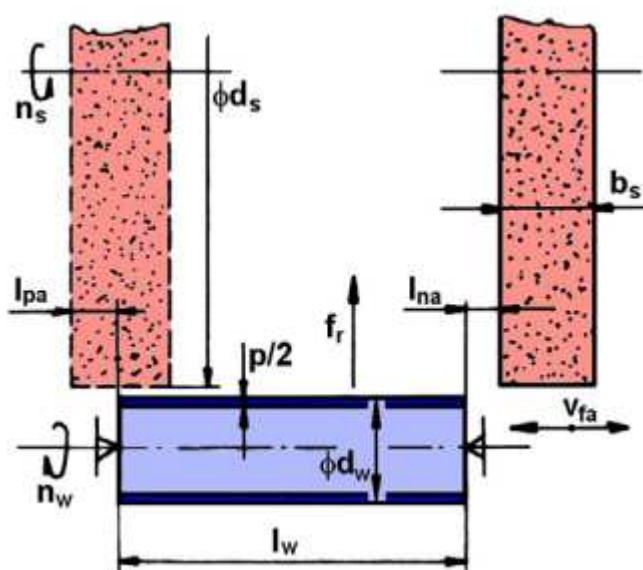
kde:

$l_a = l_{na} + l_w + l_p$  [mm] - dráha prohybu stolu brusky v axiálním směru

$l_{na} = 3$  [mm] - délka náběhu v axiálním směru

$l_{pa} = l_{na} + \frac{b_s}{2}$  [mm] - délka přeběhu v axiálním směru

$b_s$ [mm]	- šířka brousicího kotouče
$l_w$ [mm]	- délka obrobku
$f_a$ [mm]	- axiální posuv stolu brusky na jednu otáčku obrobku
$n_w$ [min <sup>-1</sup> ]	- frekvence otáčení obrobku
$p$ [mm]	- přídavek na broušení [mm]
$f_r$ [mm]	- radiální posuv stolu brusky na jeden axiální zdvih stolu
$v_{fa}$ [m·min <sup>-1</sup> ]	- axiální rychlost posuvu stolu brusky



Obr. 1.21 Schéma pro výpočet jednotkového strojního času pro obvodové axiální broušení [5].

Pro rovinné obvodové tangenciální broušení s přímočarým pohybem stolu, při axiálním posuvu stolu o hodnotu  $f_a$  na každý zdvih stolu (tedy v každé jeho úvrati), bez vyjiskřování, se jednotkový strojní čas stanoví podle vztahu [8]:

$$t_{AS} = \frac{l_t}{10^3 \cdot v_{ft}} \cdot \frac{l_a}{f_a} \cdot \frac{p}{a_e} \quad [\text{min}] \quad (1.72)$$

kde:

$l_t = l_{nt} + l_w + l_{pt}$  [mm] - dráha pohybu stolu brusky v tangenciálním směru

$l_{at} = \sqrt{3 \cdot d_s + 9}$  [mm] - délka náběhu v tangenciálním směru

$d_s$  [mm] - průměr brousicího kotouče

$l_{pt} = l_{nt}$  [mm] - délka přeběhu v tangenciálním směru

$l_w$  [mm] - délka obrobku

$v_{ft}$  [m·min<sup>-1</sup>] - tangenciální rychlost posuvu stolu brusky

$l_a = l_{na} + b_w + l_{pa}$  [mm] - dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru

$l_{na} = \frac{b_s}{2}$  [mm] - délka náběhu v axiálním směru

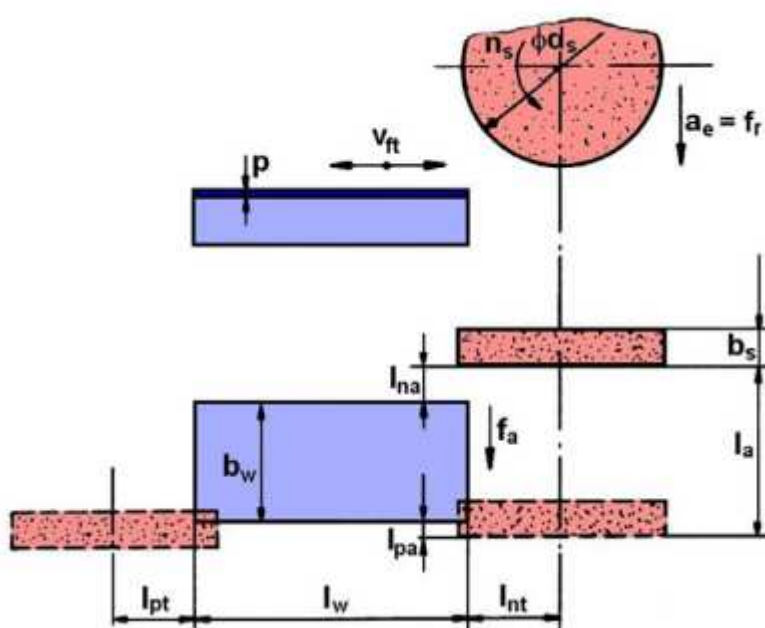
$b_w$  [mm] - šířka broušené plochy

$l_{pa} = l_{na}$  [mm] - délka přeběhu v axiálním směru

$f_a$  [mm] - axiální posuv stolu brusky na zdvih v tangenciálním směru

$p$  [mm] - přídavek na broušení

$a_e$  [mm] - pracovní (radiální) záběr



Obr. 1.22 Schéma pro výpočet jednotkového strojního času pro rovinné obvodové broušení [5].

### 1.1.5 Zušlechťování

Proces zušlechťování se skládá z kalení a popouštění. Kalení se provádí tak, že se ocel ohřeje na teplotu nad A3, následuje výdrž na teplotě a rychlé ochlazení na pokojovou teplotu. Z hlediska struktury je tento proces založen na vzniku a řízeném rozpadu austenitu. Po kalení následuje popouštění, tj. ohřev na teplotu pod A1, výdrž a ochlazení [9].

### 1.1.6 Kalení

Kalení je způsob tepelného zpracování ocelí. Při něm se ocel ohřeje na tzv. kalící teplotu a poté se prudce ochlazuje. Tím získává lepší mechanické a fyzikální vlastnosti. V případě ocelí dochází ke vzniku přesyceného tuhého roztoku uhlíku v železe (tzv. martenzitu). Ten je charakteristický jemnou strukturou. Kalíme proto, abychom dosáhli vyšší, případně maximální tvrdosti výrobku nebo jeho pracovní plochy. Kalená součást má vyšší tvrdost, ztrácí však houževnatost a proto se stává křehčí [10].

### 1.1.7 Černění

Přes některé ekologické nedostatky v minulých letech, které jsou postupně odstraňovány novými lázněmi a chemikáliemi, nachází technologie černění stále své uplatnění i aplikace. Součásti musí být před samotnou úpravou dokonale čisté a odmaštěné. Před vlastní úpravou se součásti aktivují ve vodném roztoku kyseliny chlorovodíkové, následuje oplach a vlastní černění. Pro odstranění zbytků solí je vhodné po černění zařadit oplach teplou vodou. K neutralizaci zbytků solí se doporučuje součásti ponořit po černění do zředěné kyseliny chromové. Po dokonalém oplachu následuje sušení. Je možné použít přípravky pro vytěšňování vody nebo sušení v pilinách. Poslední, ale velmi důležitou operací je konzervace ve vhodném konzervačním prostředku (pokud možno neropného původu). Výsledkem dokonalého alkalického černění je lesklý černý povrch ozdobně-ochranného charakteru [11].

## 1.2 Výrobní postup tělesa brusky

Těleso brusky je speciální příslušenství svislého soustruhu, které slouží pro broušení jak povrchů, tak i vnitřních otvorů.



Obr. 1.13 Model stávajícího tělesa brusky

Těleso brusky je vyrobeno z oceli 12 050. Výchozím polotovarem je ofrézovaný blok o rozměrech 182 mm x 184 mm x 536 mm, který je následně normalizačně vyžíhaný. Zde nastává první problém a to hospodárnost využívání materiálu. Z bloku o rozměru 182 mm x 184 mm se v délce 446 mm má zhotovit válcovitá část o průměru 105 mm. Obrobením vzniká velké množství třísek a plýtvá se časem pracovníka, což značí zbytečné náklady.

První operací je frézování - hrubování "T" vedení a podřezání. Hrubování probíhá na horizontální CNC vyvrtávače H63.

V další operaci se na vertikálním CNC frézovacím centru je průměr 105 mm ofrézován na čtyřhran 115 mm x 115 mm.

Na konvenčním soustruhu SUI 80 je poté vyhrubován průměr 105 mm na průměr 110 mm. Dále jsou vyhrubovány vnitřní průměry s přídávky na další obrábění.

Následující operací je zušlechťování obrobku na 900 MPa.

Nyní se výroba opět přesouvá na horizontální CNC vyvrtávačku H63, kde je ofrézován obvod součásti a dále pak „T“ vedení, podřezání a drážky.

Na vertikálním obráběcím centru MCFV 2080 jsou vyfrézovány vybrání, rybinové vedení a vyvrtány a vyřezány závitové otvory.

Následně jsou mechanikem sraženy hrany, dořezány závity M4 a ty jsou chráněny před kalením tím, že se do závitových otvorů našroubují šrouby M4.

V kalírně je obrobek povrchově zakalen na tvrdost 630+-100 HV a opískován.

Následuje broušení na brusce na vodící plochy SZ12-12-06, kde se brousí základna, rybinové vedení a podřezání v „T“ vedení. Zde nastává další zásadní problém a tím je složité upínání a vyrovnávání obrobku.

Následuje broušení drážky 20N6 mm na brusce na vodící plochy SFXFB1050.

Na konvenčním soustruhu SUI 80 je soustruženo sedlo pro hrot a následně soustruženy vnitřní i vnější průměry s přídávky pro broušení. Jsou zhotoveny zápichy a závit M85x1,5 mm.

Na horizontální vyvrtávačce H63 jsou nyní ofrézovány plochy pod úhlem 60° a vybrání z pohledu P. Dále je vyvrtáno 6 otvorů o průměru 4,2 mm a vyřezán závit M6.

Další operací je vrtání otvorů na horizontální vyvrtávačce WHN9B. Je zhotoven otvor pro závit a vyřezán závit M16x1,5 mm, orovnění o průměru 22 mm a po otočení stolu o 180° vyvrtán otvor o průměru 10 mm a orovnění průměru 25 mm.



Mechanik nyní součást odjehlí a označí vyražením čísla pozice.

Na hrotové brusce BHU 32 jsou předhrubovány průměry 95h8 mm, 72JS4 mm, 80JS4 mm a 68H8 mm.

Nyní je těleso načerněno.

Po černění se na brusce na vodící plochy SZ12-12-06 obrousí hotově základna A, rybinové vedení a podřezání.

Poslední operací na obrobně je broušení průměrů na hrotové brusce BHU 32. Hotově jsou nabroušeny průměry 95h8 mm, 72JS4 mm, 80JS4 mm a 68H8 mm.

Těleso brusky je nyní netemperováno a změřeno na 3D měřícím zařízení Merlin. Po vyhodnocení výsledků měření je odsouhlaseno předání součásti na sklad.

## 2 NÁVRH RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ

Podstatou racionalizace je nepřetržité zdokonalování výrobního systému. Podnikatelské subjekty by se měly snažit o neustálé zvyšování produktivity práce v zájmu zlepšování ekonomických výsledků i zvyšování konkurenceschopnosti systému. V podstatě jde o to, aby se výrobní proces uskutečňoval na stále vyšší úrovni techniky, technologie, organizace práce, výroby i řízení. Hlavním cílem racionalizace je maximální zvýšení produktivity za minimálních investic. Hranice dosaženého zvýšení produktivity práce jsou těžko stanovitelné, jedná se o proces neustálého zlepšování. V obecném smyslu se racionalizace jeví jako rozumové vládnutí pracovnímu úseku. Jejím základem je vyloučení zbytečných ztrát a využití existujících rezerv. Racionalizace zároveň směřuje k zavádění nových technických a organizačních opatření [12].

Racionalizační opatření, které navrhuji, vycházejí především z nevhodného využívání materiálu a složité technologičnosti výroby tělesa brusky. Nejjednodušším způsobem, jak dosáhnout zlepšení obou výše jmenovaných problémů, je konstrukční změna tělesa brusky. Těleso brusky je rozděleno na dvě samostatné součásti - těleso držáku a nástavec brusky. Obě jednotlivé součásti jsou na úseku montáže společně sešroubovány a následně sestaveny v celek s ostatními komponentami.

Racionalizací výroby docílíme jak snížení nákladů na materiál, tak i snížení nákladů na celkovou výrobu. Nejdůležitějším prvkem navržené racionalizace je fakt, že tímto opatřením nevznikají žádné náklady nebo investice navíc. Ekonomické srovnání původní výroby a nové výroby nalezneme v kapitole Ekonomická analýza racionalizace výroby tělesa brusky.

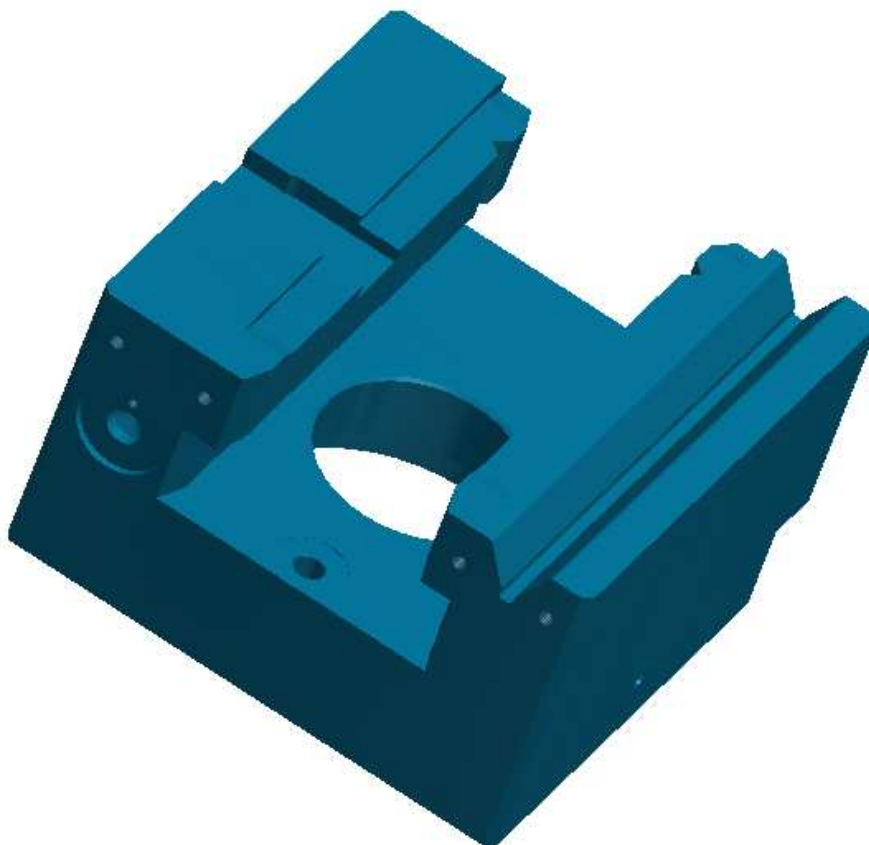


Obr. 2.1 Cíl racionalizace v podniku [12].

### 3 VÝROBNÍ POSTUP RACIONALIZOVANÉHO TĚLESA BRUSKY

V téhle kapitole je detailně popsán výrobní postup tělesa držáku (obr. 3.1) a nástavce brusky (obr. 3.11).

#### 3.1 Těleso držáku



Obr. 3.1 Těleso držáku

Těleso držáku je vyrobeno z oceli 12 050. Je to uhlíková ocel vhodná k zušlechťování a povrchovému kalení. Výchozím polotovarem je nakupovaný ofrézovaný materiál o rozměrech 114 mm x 182 mm x 184 mm, který je normalizačně vyžíhaný.

Tab. 3.1 Chemické složení oceli 12 050 [13].

Chemické složení dle ČSN 41 2050 [%]								
C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni
0,42 0,50	0,40	0,50 0,80	0,035	0,035	0,40	0,40	0,10	0,40

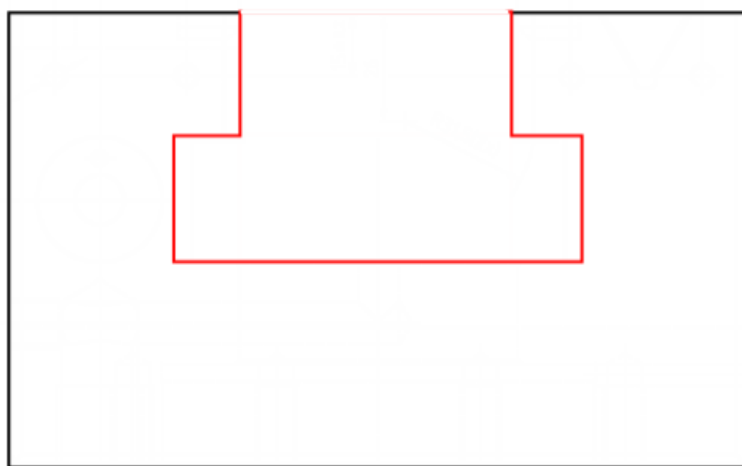
Tab. 3.2 Tepelné zpracování [13].

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Normalizační žíhání	840-870	Ochlazovat na vzduchu
Kalení	830-860	Ochlazovat v oleji
	800-830	Ochlazovat ve vodě
Žíhání na měkko	680-720	Ochlazovat v peci
Popouštění	530-670	Ochlazovat na vzduchu

Tab. 3.3 Mechanické vlastnosti [13].

Mechanické vlastnosti	Jednotky	Hodnota
Tvrdost (žíhaný na měkko)	HB	max. 191
Tvrdost (kalený)	HRC	55-59

První operací na obrobku je frézování "T" vedení a podřezání dle obr. 3.2 na CNC frézovacím centru MCFV 1260 - obr. 3.3.



Obr. 3.2 Schéma odebíraného materiálu v operaci 20



Obr. 3.3 CNC vertikální frézovací centrum MCFV 1260

Následující operací je odjehlení součásti u mechaniků.

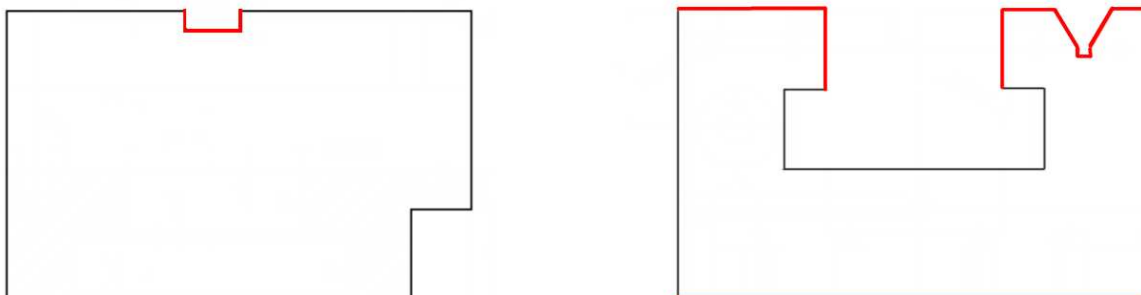
Součást je převezena do kalírny, kde proběhne zušlechtění na 900+-50 MPa.

Z kalírny se obrobek opět frézuje na frézovacím centru MCFV 1260. Nyní je ofrézován celý tvar součásti, rozměry jsou zvětšeny či naopak zmenšeny o přídavky na broušení. Jsou vrtány otvory pro závity, frézována rovinná a řezány závity M6.

Nyní mechanik opět odjehlí hrany, dopiluje rádiusy, vyřeže závit M4 a všechny závity před kalením chrání tak, že do závitových otvorů našroubuje zátky. Po operaci kalení je opět vyšroubuje a závity prořeže.

V kalírně jsou povrchově zakaleny plochy předepsané výkresovou dokumentací a obrobek je opískován.

Na obrázku 3.5 je vidět rovinná bruska BPH 300/1000, na které se přechistí spodní plocha tělesa pro upnutí v další poloze. V té se nabrousí nejprve vedení, poté základna A a k ní rybinové vedení. V dalším upnutí se nabrousí drážka 20N6 mm, která musí být kolmá na rybinové vedení podle obr. 3.4.



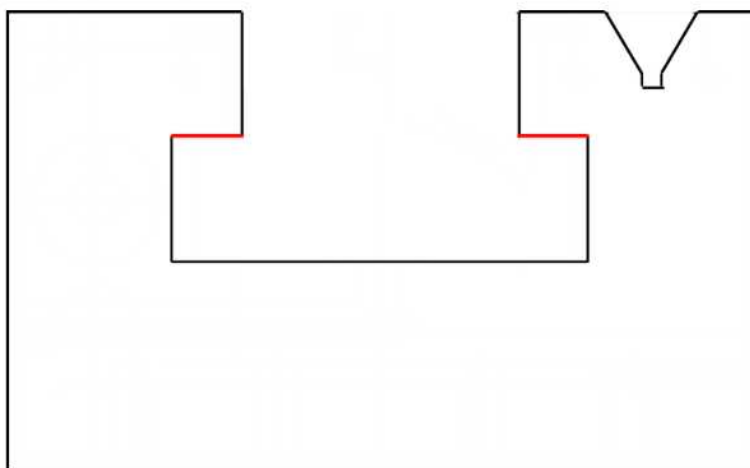
Obr. 3.4 Schéma odebíraného materiálu v operaci 90



Obr. 3.5 Rovinná bruska BPH 300/1000



Další brusičskou operací je broušení podřezání v “T” vedení (obr. 3.6), které musí být rovnoběžné se základnou A. Tato operace je provedena na brusce na vodící plochy SFXFB1050 - obr. 3.7.

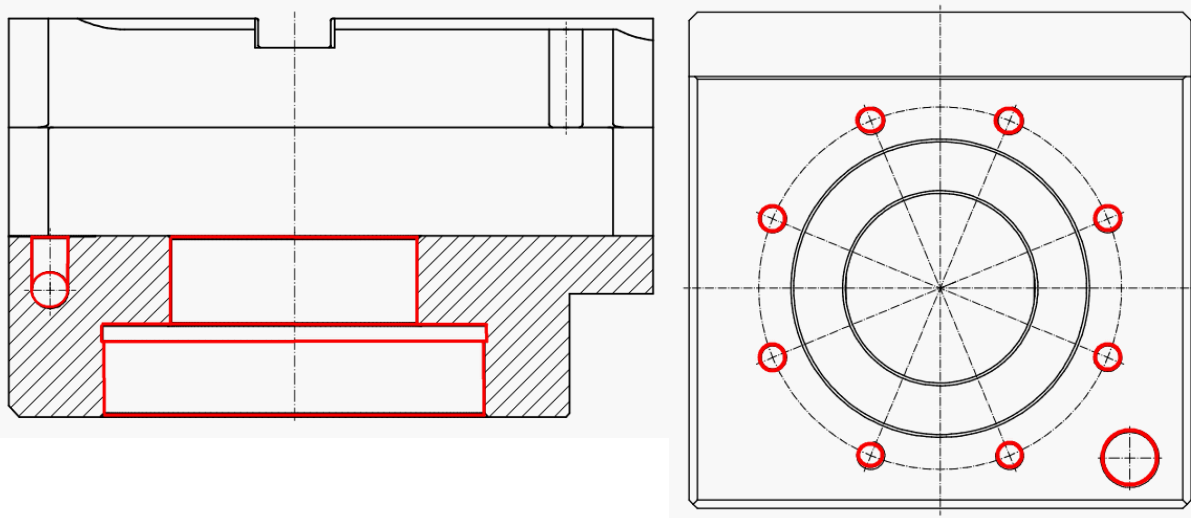


Obr. 3.6 Schéma odebíraného materiálu v operaci 100



Obr. 3.7 Bruska na vodící plochy SFXFB1050

Obsluha horizontální CNC vyvrtávačky H63 (obr. 3.9) zhotoví středové otvory průměru 60H8 mm a 105H7 mm a zápich na dně průměru. Dále jsou vyvrtány otvory pro závit, propojovací otvory, zhotoví se orovnání a vyřežou závit (obr. 3.8).



Obr. 3.8 Schéma odebíraného materiálu v operaci 110

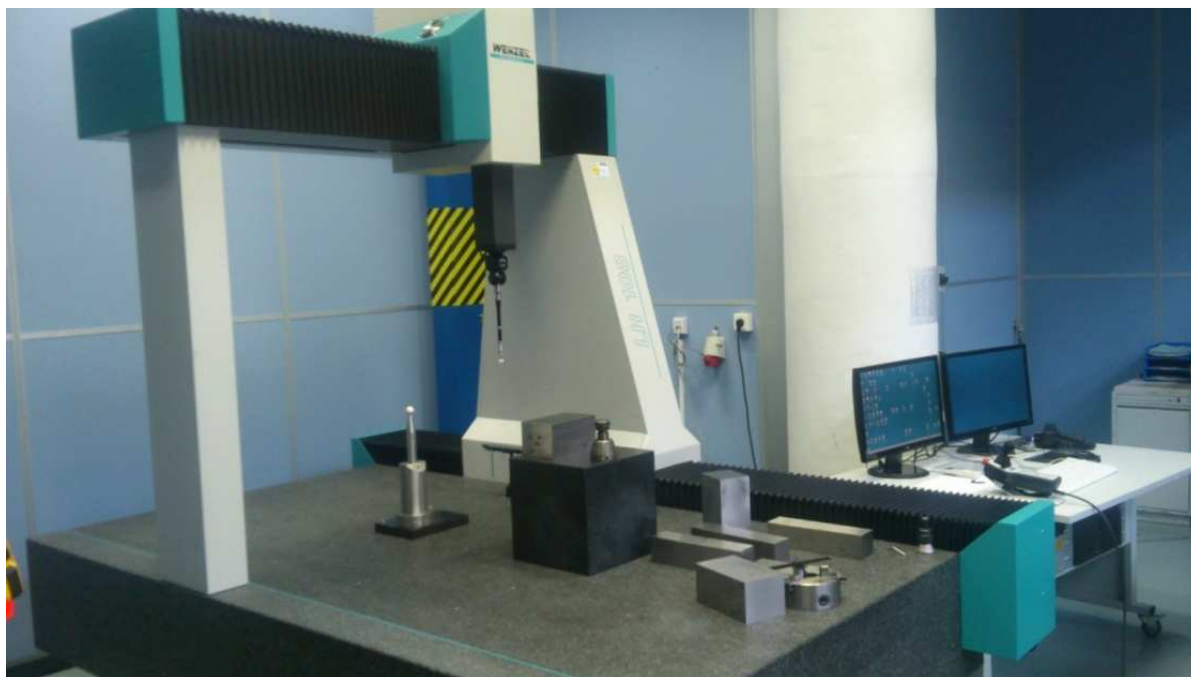


Obr. 3.9 Horizontální vyvrtávačka H63



Úkolem mechanika v další operaci je upravení proniků a označení součásti vyražením čísla pozice.

Součást je pak natemperována a změřena na 3D měřicím zařízení Merlin (obr. 3.10). Na pracovišti kontroly jsou podle protokolu měření vyhodnoceny přesnosti a tolerance dle výkresové dokumentace a jako finální operací je načernění součásti.



Obr. 3.10 3D měřicí pracoviště Merlin

### 3.2 Nástavec brusky



Obr. 3.11 Model nástavce brusky

Nástavec brusky se skládá ze dvou částí, které jsou k sobě přivařeny. Příruba je z oceli jakosti 11 523, těleso z oceli 12 050.

Tab. 3.4 Chemické složení oceli 11 523 [14].

Chemické složení dle ČSN 41 1523 [%]					
C	Mn	Si	N	P	S
max. 0,2	max. 1,6	max. 0,55	0,009	max. 0,04	max. 0,04

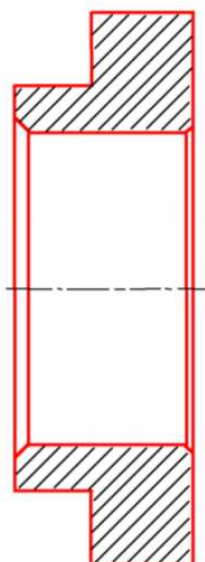
Tab. 3.5 Tepelné zpracování [14].

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Normalizační žíhání	870-900	Ochlazovat na vzduchu
Žíhání ke snížení pnutí	600-650	Zvolna ochlazovat
Žíhání na měkko	680-710	Zvolna ochlazovat
Popouštění	670-700	Ochlazovat na vzduchu

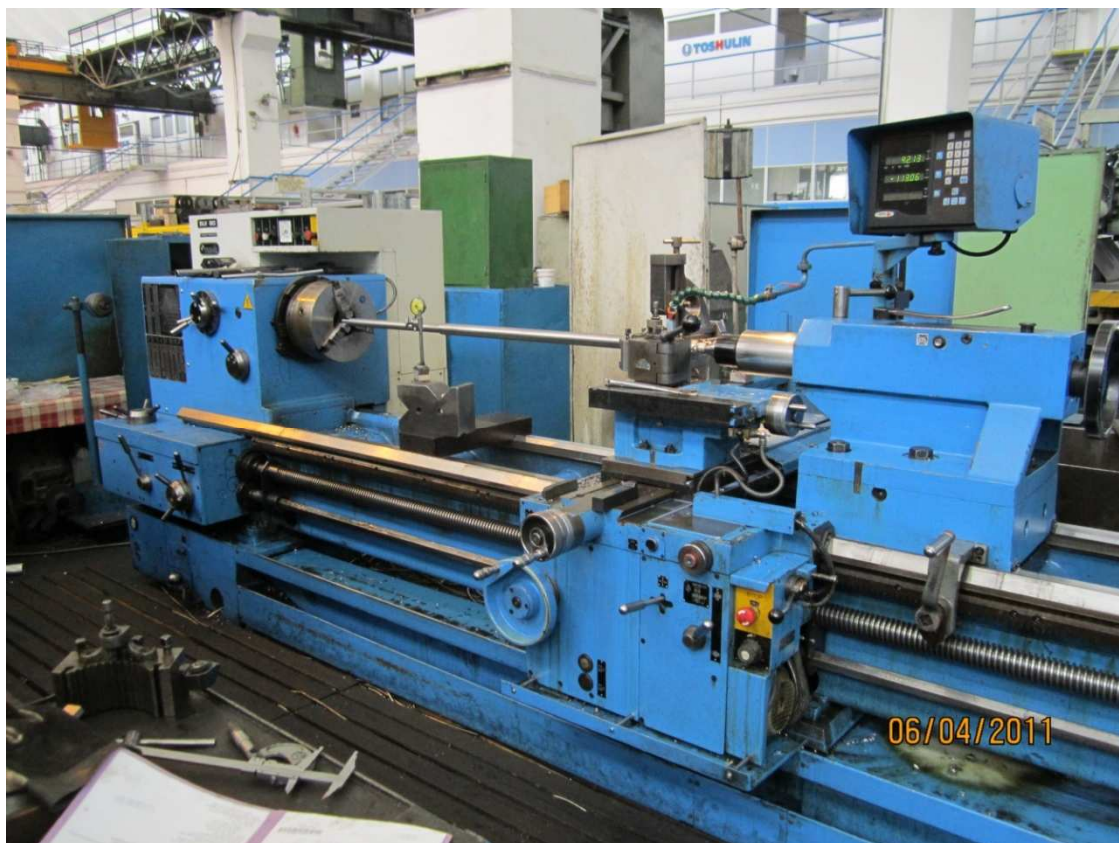
Tab. 3.6 Mechanické vlastnosti [14].

Mechanické vlastnosti	Jednotky	Hodnota
Mez kluzu $R_e$	MPa	min. 275
Mez pevnosti $R_m$	MPa	450 - 630

Nejprve je na konvenčním hrotovém soustruhu SUI 80 (obr. 3.13) vyrobena příruba (obr. 3.12). Polotovár o průměru 160 mm a délky 52 mm je upnut do sklíčidla, nejprve je zarovnáno čelo na délku 50 mm, osoustružen průměr 150 mm a vysoustružen otvor průměru 85+0,2 mm. Následně je kus otočen a upnut do sklíčidla, je zarovnáno čelo na délku 48 mm, osoustružen průměr 110 mm a zhotoveny hrany 4x45°.

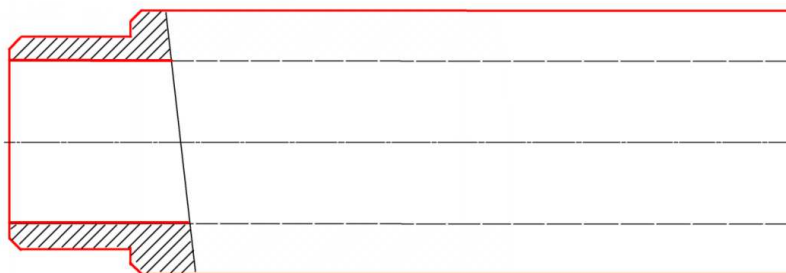


Obr. 3.12 Schéma odebíraného materiálu v operaci 20



Obr. 3.13 Hrotový soustruh SUI 80

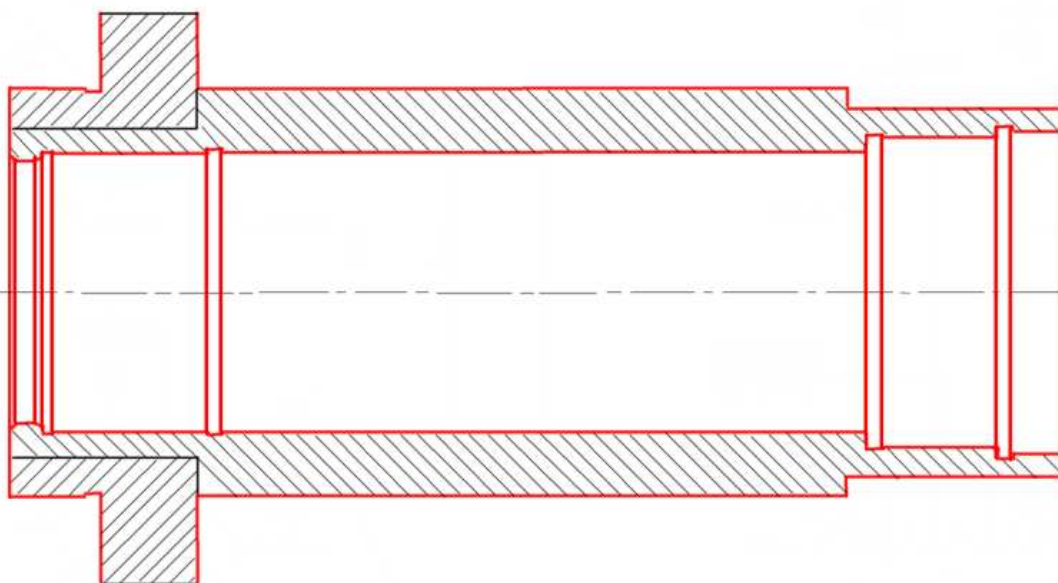
Dále je na soustruhu podle obr. 3.14 vyrobena podpozice “b” – těleso. Těleso je z materiálu 12 050 a polotovarem je tyč kruhová o průměru 115 mm o délce 450 mm. Pro upnutí do hrotů se na soustruhu SUI 80 nejprve navrtají středící důlky z obou stran. Následně je tyč upnuta do sklíčidla a hrotu a je zarovnáno čelo na délku 449 mm a celá tyč až po sklíčidlo je soustružena na průměr 105 mm. Nyní se tyč přepne opět do sklíčidla a hrotu a zarovná se čelo na délku 447 mm. Je osoustružen průměr 85-0,2 mm a jsou zhotoveny hrany 4x45°. Nyní se tyč upne do sklíčidla, podepře se lunetou a je vrtán průměr 65 mm do poloviny součásti a po odvrtání se zhotoví sedlo pro hrot. Tyč je přepnuta a předchozí operace se opakuje.



Obr. 3.14 Schéma odebíraného materiálu v operaci 30

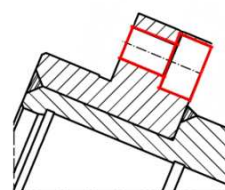
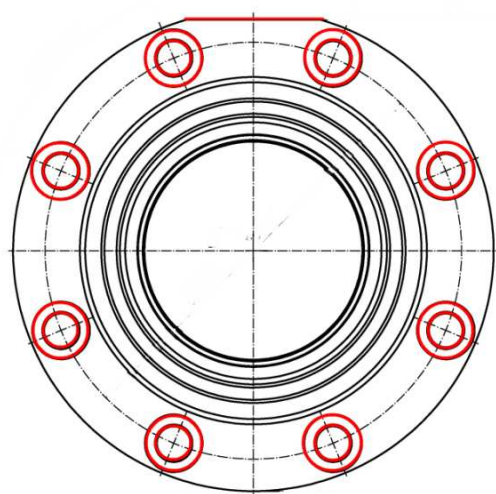
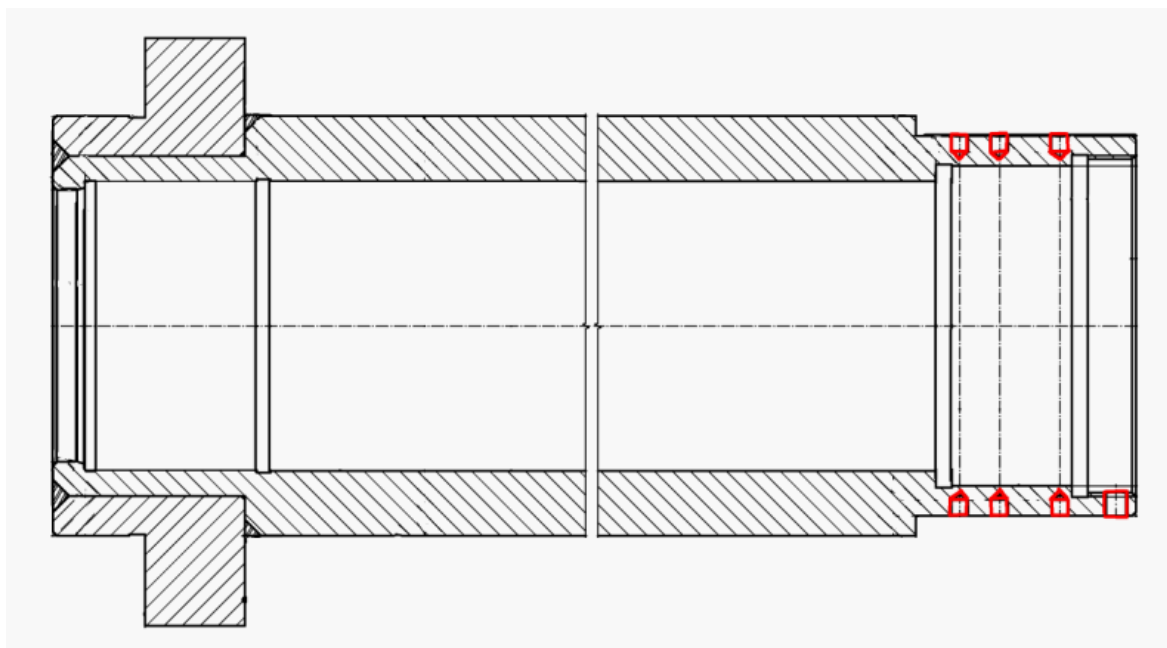
Příruba s tělesem jsou na zámečnické dílně svařeny a svařenec postupuje do kalírny, kde je vyžihán na snížení pnutí a následně opískován.

Svařenec se nyní vrací na pracoviště soustruh SUI 80 kompletně osoustružen (obr. 3.15). V prvním upnutí se svařenec upne do sklíčidla a podepře hrotem. Nejprve se začistí čelo na délku 445,5 mm, následně se přečistí průměr 150 mm, průměr 105h6 mm se zhotoví na míru 105+0,3 mm jako přídavek na broušení. Nakonec se zhotoví zápich G4x0,4 mm a srazí hrany. Nyní se svařenec přepne do sklíčidla a podepře lunetou. Zarovná se čelo k míře 422+/-0,2 mm, soustruží se průměr 95h8 mm s přídavkem 0,3 mm na broušení a srazí se hrany. Nyní obrobek přepne do sklíčidla a lunety a soustruží se vnitřní průměr 68H8 mm opět s přídavkem 0,3 mm na broušení, rozměr tedy bude 67,7 mm, a sedlo 1/60°. Opět se součást přepne do sklíčidla a podepře lunetou a soustruží se vnitřní průměry z opačné strany také s přídavky 0,3 mm na broušení. Následně se zhotoví zápichy, závit M85x1,5 mm, sedlo 1/60° a srazí se hrany.



Obr. 3.15 Schéma odebíraného materiálu v operaci 70

Dále je na horizontální vyvrtávače WHN9B (obr. 3.17) je dle obr. 3.16 ofrézována ploška ke kótě 147 mm, vyvrtány a zpětně zahloubeny otvory průměru 10,5 mm a 18 mm, vyvrtáno 6 otvorů průměru 4,2 mm a vyřezán závit M6.



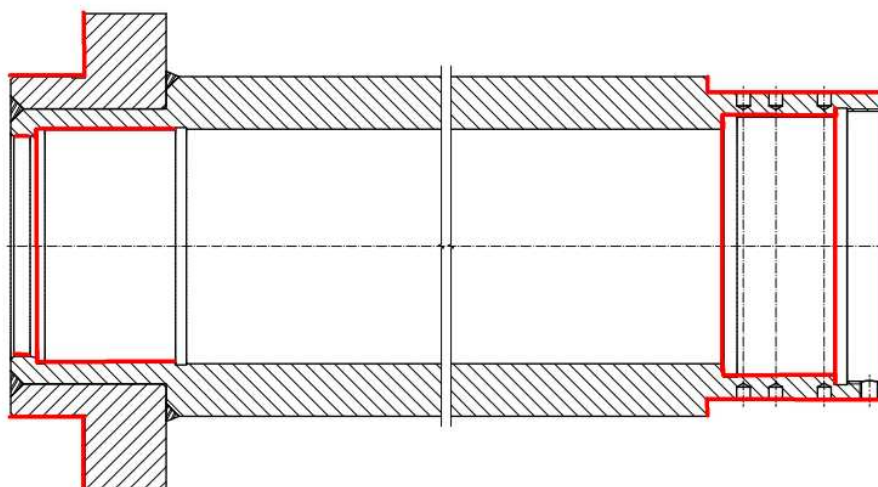
Obr. 3.16 Schéma odebíraného materiálu v operaci 80





Obr. 3.17 Horizontální vyvrtávačka WHN9B

Na hrotové brusce BHU 32 (obr. 3.19) je obrobek upnut na skládací trn a jsou obroušeny vnější průměry 105h6 mm a 95h8 mm s příslušnými čely. Následně je součást upnuta do sklíčidla a podepřena lunetou a jsou obroušeny vnitřní průměry 68H8, 72JS4, 80JS4 a pravé čelo (obr. 3.18).



Obr. 3.18 Schéma odebíraného materiálu v operaci 100



Obr. 3.19 Hrotová bruska BHU 32

Následuje natemperování součásti a měření na 3D měřícím zařízení Merlin. Po změření a zkontrolování rozměrů je součást načerněna a připravena k odvedení do skladu.

### 3.3 Montáž

Na úseku montáže jsou smontovány jednotlivé komponenty. Nejprve je složeno těleso držáku a nástavec brusky. Dále je montováno vřeteno brusky, ložiska, labyrint, zubová spojka a další dílce dle výkresu sestavy.





Obr. 3.20 Model sestavy brusky

### 3.4 Výroba prototypového tělesa brusky

Těleso držáku a nástavec brusky byly na základě racionalizačních opatření vyrobeny, smontovány a bylo provedeno broušení zkušební dílce (obr. 3.21). Výrobou bylo ověřeno, že racionalizační opatření fungují. Náklady spojené s výrobou značně klesly a navíc bylo dosaženo lepších výsledků při měření geometrických tolerancí samotného tělesa brusky a také při broušení se dosahují lepší hodnoty drsnosti povrchu. Existovala obava, že složené těleso bude při broušení vibrovat, což by mělo negativní vliv na kvalitu povrchu broušeného dílce. Tahle obava se však nepotvrdila a bruska tedy splňuje všechny nároky, které jsou na ni kladeny. Dle těchto racionalizačních opatření budou upraveny všechny brusky vyráběné v TOSHULIN, a.s.



Obr. 3.22 Bruska při zkouškách broušení na vlastním stroji

#### 4 EKONOMICKÁ ANALÝZA RACIONALIZACE VÝROBY TĚLESA BRUSKY

Racionalizací výroby tělesa brusky bylo dosaženo výrazné úspory času potřebného k výrobě. Jak uvádí tabulka 4.1, jedná se o snížení strojního času o 53,3% a o 42,6% času přípravného. V celkovém porovnání je čas potřebný pro výrobu snížen o 50,1%. Do strojního času je započítáván veškerý čas potřebný k výrobě jednoho kusu dílce od jeho upnutí až po odepnutí ze stroje. Je tam tedy započítáno měření součásti, výměna opotřebovaných řezných plátků a přepínání součásti. V přípravném čase je zahrnuto především seřízení stroje a nástrojů a úklid pracoviště po skončení obrábění.

Tab. 4.1 Porovnání časů potřebných pro výrobu tělesa brusky v minutách

Spotřeba času	Stávající výroba	Racionalizovaná výroba	Úspora
Strojní čas	2 318	1 081	1 237
Přípravný čas	1 010	579	431
Celkem	3 328	1 660	1 668

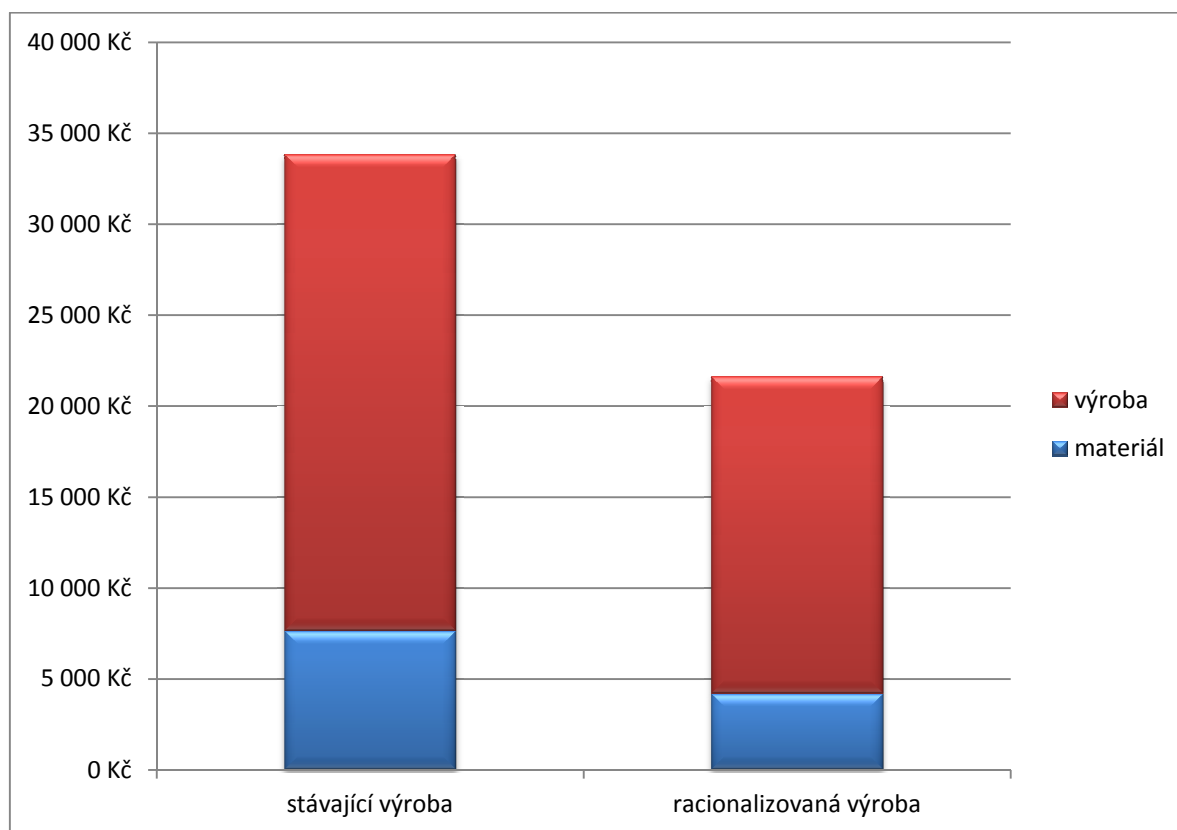
Zároveň se zvýšila efektivnost využití materiálu. V původní výrobě tvořilo 80% objemu polotovaru třísky. Racionalizačními opatřeními jsme se dostali na hodnotu 53 %. Úspora 30% objemu materiálu je číslo, které je určitě nezanedbatelné.

Celkové hodnocení nákladů uvádí tabulka 4.2. Z ní je patrné, že je dosažena úspora nákladů jak za nákup materiálu, tak i za výrobu součásti.

Tab. 4.2 Porovnání nákladů spojených s výrobou tělesa brusky v korunách

Náklady	Stávající výroba	Racionalizovaná výroba	Úspora
Materiál	7 611	4 178	3 433
Výroba	26 211	17 427	8 784
Celkem	33 822	21 605	12 217

Graf 4.1 nám úspory ukazuje v přehlednějším pojetí.



Graf 4.1 Rozbor nákladů při výrobě tělesa brusky.

## ZÁVĚR

Diplomová práce se věnuje racionalizaci výroby součásti těleso brusky. Tato součást byla vybrána ve spolupráci s firmou TOSHULIN, a.s. pro opakující se problémy s dodržováním přesností a geometrických tolerancí při výrobě a pro ne hospodárné využívání materiálu.

Cílem diplomové práce bylo analyzovat stávající stav výroby a navrhnout novou technologii výroby, která sníží náklady spojené na výrobní proces.

Racionalizací výroby bylo dosaženo následujících výsledků:

- zvýšení efektivity využívání materiálu o téměř 30%,
- snížení času potřebného na výrobu o 50%,
- úspora nákladů na výrobu ve výši 36%,
- nebyla potřeba žádná investice na provedení racionalizačních opatření,
- zlepšení jakosti povrchu zkušebního dílce po broušení.

Na základě splnění všech cílů a velmi uspokojivých výsledků při zkušebním broušení bude ve firmě TOSHULIN, a.s. provedena racionalizace výroby i ostatních těles brusky pro všechny stroje, které podnik vyrábí.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. Základní informace o firmě. *TOSHULIN* [online]. [vid. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://www.toshulin.cz/stranka.asp?idstranka=1&mapa=37&l=CZ>
2. Produktový katalog. *TOSHULIN* [online]. [vid. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://www.toshulin.cz/soubory/TOS%20Katalog%20NEW%20CZ.pdf>
3. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [vid. 2014-02-06], 138 s. Dostupný z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
4. DOSTÁL, Martin. *Racionalizace technologie výroby tělesa*. Brno 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 80s., 5s. příloh. Vedoucí práce Ing. Karel Osička, Ph.D.
5. BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II - 2. díl*. Ostrava: VŠB -TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1822-1
6. HUMÁR, Anton. *Sylaby předmětu: Výrobní technologie II*. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
7. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004 [vid. 2014-02-17], 95 s. Dostupný z WWW: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf)
8. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 3. část* [online]. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005 [vid. 2014-03-26], 57 s. Dostupný z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci\\_a\\_nekonvenncni\\_metody\\_obrabeni/TI\\_TO-3.cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvenncni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf)
9. Laboratorní práce Tepelné zpracování oceli *VŠCHT* [online]. [vid. 2014-04-15]. Dostupné z: [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_tepelne\\_zprac\\_oceli/teorie2.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_tepelne_zprac_oceli/teorie2.htm)
10. Kalení. *Wikipedia* [online]. 2013 [vid. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalení>
11. Alkalické černění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001. [vid. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni.html>
12. Racionalizace výroby: Učební text. Vysoká škola báňská [online]. Ostrava, 2007 [vid. 2014-04-15]. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace\\_vyroby.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace_vyroby.pdf)
13. Ocel 12 050. *Lentus* [online]. [vid. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.lentus-ocel.cz/tridy-oceli/n-120503.htm>
14. Ocel 11 523. *Lentus* [online]. [vid. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://www.lentus-ocel.cz/tridy-oceli/115231-nelegovana-konstrukcni-ocel.htm>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
$A_D, A_{Di}$	$[mm^2]$	jmenovitý průřez třísky
$A_{dmax}$	$[mm^2]$	maximální velikost jmenovitého průřezu třísky
$C_{Fc}$	$[-]$	materiálová konstanta
$C_{Ff}$	$[-]$	materiálová konstanta
$C_{Fp}$	$[-]$	materiálová konstanta
$D$	$[mm]$	průměr
$F, F_i$	$[N]$	celková řezná síla
$F_c, F_{ci}$	$[N]$	řezná síla
$F_{cNi}$	$[N]$	kolmá řezná síla
$F_f$	$[N]$	posuvová síla
$F_{fi}$	$[N]$	posuvová síla
$F_{fNi}$	$[N]$	kolmá posuvová síla
$F_p$	$[N]$	pasivní síla
$L$	$[mm]$	délka
$P_c$	$[kW]$	řezný výkon stroje
$P_m$	$[kW]$	celkový výkon stroje
$R$	$[mm]$	poloměr
$a_e$	$[mm]$	pracovní záběr
$a_p$	$[mm]$	šířka záběru ostří
$b_D, b_i$	$[mm]$	jmenovitá šířka třísky
$b_s$	$[mm]$	šířka brusného kotouče
$b_w$	$[mm]$	šířka broušené plochy
$d$	$[mm]$	průměr
$d_s$	$[mm]$	průměr brousicího kotouče
$d_w$	$[mm]$	průměr obrobku
$f$	$[mm]$	posuv

$f_a$	[mm]	axiální posuv stolu brusky
$f_n$	[mm]	posuv na otáčku
$f_r$	[mm]	radiální posuv stolu brusky
$f_z$	[mm]	posuv na zub
$h_D, h_i$	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
$h_{eq}$	[mm]	ekvivalentní tloušťka broušení
$k_c, k_{ci}$	[MPa]	měrná řezná síla
$l$	[mm]	délka
$l_a$	[mm]	dráha pohybu stolu brusky v axiálním směru
$l_n$	[mm]	délka náběhu
$l_{na}$	[mm]	délka náběhu v axiálním směru
$l_{nt}$	[mm]	délka náběhu v tangenciálním směru
$l_p$	[mm]	délka přeběhu
$l_{pa}$	[mm]	délka přeběhu v axiálním směru
$l_{pt}$	[mm]	délka přeběhu v tangenciálním směru
$l_t$	[mm]	dráha pohybu stolu brusky v tangenciálním směru
$l_w$	[mm]	délka obrobku
$n$	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky
$n_s$	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky brousicího kotouče
$n_w$	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky obrobku
$p$	[mm]	přídavek na broušení
$t_{AS}$	[min]	jednotkový strojní čas
$t_{ASn}$	[min]	jednotkový strojní čas při konstantních otáčkách
$t_{ASv}$	[min]	jednotkový strojní čas při konstantní řezné rychlosti
$v_c$	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	řezná rychlost
$v_e$	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	rychlost řezného pohybu
$v_f$	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	posuvová rychlost
$v_{fa}$	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	axiální rychlost posuvu stolu brusky
$v_{ft}$	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	tangenciální rychlost posuvu stolu brusky



$v_w$	$[m \cdot min^{-1}]$	obvodová rychlost
$x_{Fc}$	[-]	exponent
$x_{Ff}$	[-]	exponent
$x_{Fp}$	[-]	exponent
$y_{Fc}$	[-]	exponent
$y_{Ff}$	[-]	exponent
$y_{Fp}$	[-]	exponent
$z$	[-]	počet zubů nástroje
$\phi_i$	$[^\circ]$	úhel posuvového pohybu
$\kappa_r$	$[^\circ]$	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří

Zkratka	Jednotka	Popis
<b>3D</b>	[-]	trojrozměrný
<b>C</b>	[-]	uhlík
<b>CNC</b>	[-]	Computer Numeric Control
<b>Cr</b>	[-]	chrom
<b>Mo</b>	[-]	molybden
<b>ČSN</b>	[-]	česká technická norma
<b>HB</b>	[-]	tvrdost podle Brinella
<b>HV</b>	[-]	tvrdost podle Vickerse
<b>HRC</b>	[-]	tvrdost podle Rockwella
<b>Mn</b>	[-]	mangan
<b>N</b>	[-]	dusík
<b>Ni</b>	[-]	nikl
<b>P</b>	[-]	fosfor
<b>S</b>	[-]	síra
<b>Si</b>	[-]	křemík

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Stávající výkres tělesa brusky
Příloha 2	Stávající technologický postup tělesa brusky
Příloha 3	Nový výkres tělesa držáku
Příloha 4	Nový technologický postup tělesa držáku
Příloha 5	Nový výkres nástavce brusky
Příloha 6	Nový technologický postup nástavce brusky
Příloha 7	Nový výkres sestavy brousicího vřetena

